

A Robust Image Zero-Watermarking Algorithm Based on Multi-Channel and SVM

Rongsheng Xie, Chaoqun Hong

School of Computer and Information Engineering, Xiamen University of Technology, Xiamen Fujian
Email: rsxie@xmut.edu.cn, 1241955270@qq.com

Received: Dec. 23rd, 2019; accepted: Jan. 7th, 2020; published: Jan. 14th, 2020

Abstract

This paper proposes a robust image zero-watermarking scheme based on a multi-channel watermarking model and Support Vector Machine (SVM). In the scheme, the DWT domain of the original image is divided into many non-overlapping watermarking channels, and SVM training sets of all watermarking channels are built based on robust watermark and DWT coefficients decided by a logistic chaos key. By SVM training, we obtain decision functions of all watermarking channels. During the watermark detecting stage, watermarks of all watermarking channels are extracted by the decision functions, and the final robust watermark is worked out by an estimation function. With the proposed algorithm, the watermarked images are perfect without any distortion since we don't embed any information into the original image, and they can resist various intensive watermarking attacks.

Keywords

Digital Watermarking, SVM, Zero-Watermark, Multi-Channel

基于SVM的多通道鲁棒图像零水印算法

谢荣生, 洪朝群

厦门理工学院计算机与信息工程学院, 福建 厦门
Email: rsxie@xmut.edu.cn, 1241955270@qq.com

收稿日期: 2019年12月23日; 录用日期: 2020年1月7日; 发布日期: 2020年1月14日

摘要

本文基于多通道水印模型和SVM, 提出了一种鲁棒零水印算法。该算法将DWT域划分为多个水印通道, 基于水印和混沌密钥确定的DWT系数构造样本集, 并对每一通道进行SVM训练, 从而生成决策函数。水

印检测阶段, 通过各通道的决策函数提取各通道的水印, 最后通过各通道水印和估算方法计算最终的鲁棒水印。由于该算法方案并没有真实嵌入水印信息, 图像没有任何失真。另外, 多通道方案使得该算法具有强鲁棒性。

关键词

数字水印, SVM, 零水印, 多通道

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

数字水印是数字作品版权保护的有效方法。水印算法的鲁棒性和隐形性(不可察觉性)是两个相互对立的重要性能指标。一般来说, 提高图像的鲁棒性将降低图像的隐形性, 反之亦然。图像的鲁棒性一般用水印的检测率衡量; 隐形性一般用信噪比或者峰值信噪比来衡量。如何在确保一定信噪比的条件下提高算法的鲁棒性是数字水印算法的研究热点。其中多通道水印和零水印方法是两个重要的研究方向。在多通道水印方面又主要分为两类, 一类算法[1] [2] [3]是针对彩色图像, 将鲁棒水印嵌入到彩色图像的各个彩色分量上, 以此提高水印的容量和鲁棒性。另一类算法[4] [5] [6] [7]则将图像的变换域划分为多个水印通道, 在各水印通道嵌入鲁棒水印以提高水印的鲁棒性。多通道水印方案向各个水印通道同时嵌入了水印, 这相当于向原始图像叠加了几次噪声。因此多通道图像水印算法的强鲁棒性是以降低水印图像的质量为代价的。因而, 片面地应用多通道水印方案并不能实质地提升水印算法的性能。为最大限度地提高水印的鲁棒性, 且不损害水印图像的质量, 很多专家学者提出了零水印的算法思想[8] [9] [10]。零水印算法的主要思想是通过提取原始图像的某些特征来构造零水印, 而不是像传统的水印算法那样向图像中嵌入水印信息。比如, 文献[8]利用具有几何不变特性的三元数极谱-Fourier 矩来构造零水印; 文献[10]通过提取三阶、四阶累积量等图像特征来构造零水印。零水印方案中, 水印图像虽然没有任何失真, 但是一旦图像的特征不明显, 或者图像特征在水印攻击中失真严重, 则在检测阶段很难有效地检测出水印。

本文将零水印方案和多通道水印方案结合起来, 将图像的离散小波变换域(DWT)划分为多个水印通道, 并将水印通道里的 DWT 系数和水印配对生成支持向量机(SVM)的样本集, 通过样本集的 SVM 训练生成各水印通道的决策函数, 实现零水印的“嵌入”和检测。

2. 支持向量机

支持向量机(Support Vector Machine, SVM)是用于解决二元分类问题的有监督学习算法。其主要思想是在特征空间上求解一个最佳超平面, 该超平面将样本集分割为具有最大间隔的正负样本。

假设训练样本集为, $\{(x_i, y_i) | x_i \in R^n, y_i \in \{1, -1\}, i = 1, 2, \dots, l\}$, 其中, $y_i = 1$ 的为正样本, 反之为负样本。SVM 算法的目标是寻求一个超平面

$$w \bullet x + b = 0 \quad (1)$$

将该样本集分成具有最大间隔的正负两类, 其中, $w \bullet x$ 表示向量 w 和 x 的内积。而最优超平面的求解等价于最小化 $\|w\|^2 = (w \bullet w)$ 。

引入 Lagrange 常数 a_i , 这个优化问题又等价于以下的极大极小值问题:

$$\max \min L(w, b, a) = \frac{1}{2} \|w\|^2 - \sum_{i=1}^l a_i y_i [w \bullet x_i - b] + \sum_{i=1}^l a_i \quad (2)$$

求 w 和 b 的偏导数, 解它们的极小值, 再针对 a 求这个极小值的极大值。最终求得最优超平面参数 (w^*, b^*) 。相应的分类决策函数为:

$$f(x) = \text{sgn}(w^* \bullet x + b^*) \quad (3)$$

对于非线性样本集, 则通过核函数(比如多项式、高斯径向函数, 等)实现非线性函数的拟合。

3. 基于 SVM 的多通道零水印方案

3.1. 多通道分类决策函数生成

对原始图像进行离散小波变换(DWT), 并将 DWT 域划分为互不重叠的 M 个矩形区域, 每一区域称为一个水印通道, 如图 1 所示。对每一个水印通道进行 SVM 模型训练, 最终得到各水印通道的 SVM 分类决策函数 $f_i(x), i=1, 2, \dots, M$ 。方法如下:

假设欲嵌入的水印为 $w(i) \in \{1, -1\}, i=1, 2, \dots, N$, N 为水印的长度。由 logistic 混沌密钥 k 确定的水印位置所对应的小波系数为 $C_i(j), i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N$ 。其中, i 表示水印通道的序号, j 表示小波系数序号; 混沌密钥 k 包括两个子密钥 k_x 和 k_y , 分别用来确定各通道水印位置的横坐标和纵坐标, 其算法原理参考文献[4]。由此, $\{(C_i(j), w(j)) | C_i(j) \in R^n, w(j) \in \{1, -1\}, j=1, 2, \dots, N\}$ 构成第 i 水印通道的训练样本集。使用该样本集对该通道进行训练, 得到该通道的 SVM 分类决策函数。

从以上论述中可以看出, 我们并没有像传统的图像数字水印算法那样, 向原始图像嵌入水印信息。原始图像没有任何的失真。

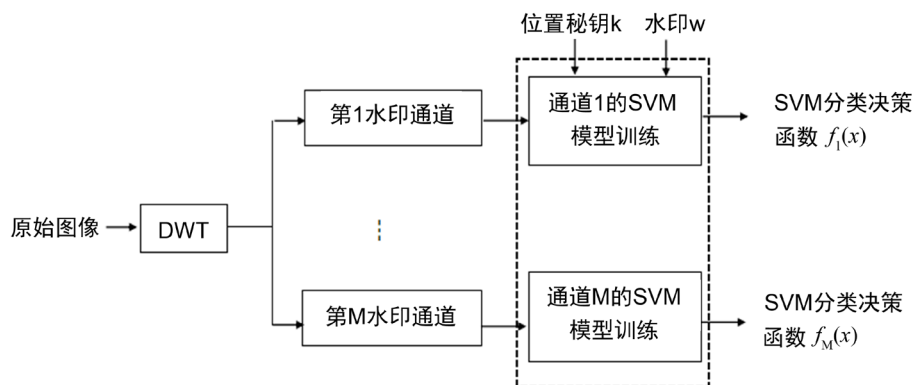


Figure 1. Building classification decision function
图 1. 分类决策函数生成

3.2. 图像水印检测

在水印检测阶段, 对每一水印通道, 根据该通道的 SVM 分类决策函数 $f_i(x)$ 检测数字水印, 如图 2 所示。算式如下:

$$w_i^*(j) = f_i(C_i^*(j)), i=1, 2, \dots, M; j=1, 2, \dots, N \quad (4)$$

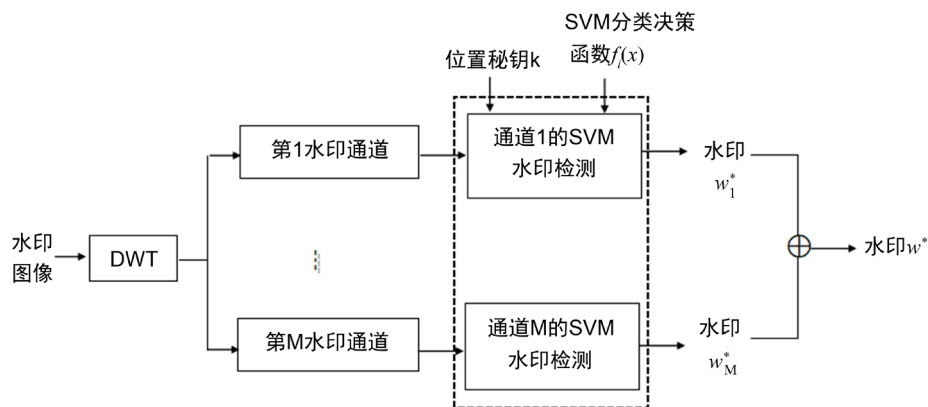


Figure 2. Watermark detection
图 2. 水印检测

得到各通道的水印后, 通过以下式子估算最终检测的水印:

$$w^*(i) = \text{sgn}\left(\sum_{k=1}^M w_k^*(i)\right), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

由(5)式可知, 当待检测的图像遭受局部攻击后, 即便某些水印通道水印检测错误率很高, 只要大多数通道水印检测率满足需求, 仍然能准确检测水印, 因而, 该方案最大限度的提高了水印算法的鲁棒性。

4. 实验分析

本节采用图 3 所示测试图像验证本文的算法。由于本文采用零水印方案, 水印图像没有任何的失真。本试验测试图像的 DWT 分解尺度设为 3; 水印的长度为 64 bit; SVM 算法的核函数采用径向基核函数。用峰值信噪比(PSNR)来表示待检测图像遭受水印攻击的强度。显然, PSNR 越小, 检测图像收到的攻击越大, 图像失真越严重。水印检测的结果用比特误差率(BER)表示。BER 表示检测错误的水印比特所占的比例, 因而 BER 越小, 说明水印检测效果越好, 水印算法鲁棒性越强。实验结果如表 1 所示。实验结果表明, 本文的算法对常用的水印攻击手段, 如加噪、局部模糊化、剪切, 等均具有很强的抵抗力。对任一测试图像, 当 PSNR 大于 35 时, BER 值都是 0, 这说明水印算法能完全准确地检测出水印。即便在高强度攻击下, BER 也是很小的。实验说明, 本文的算法具有很强的鲁棒性。

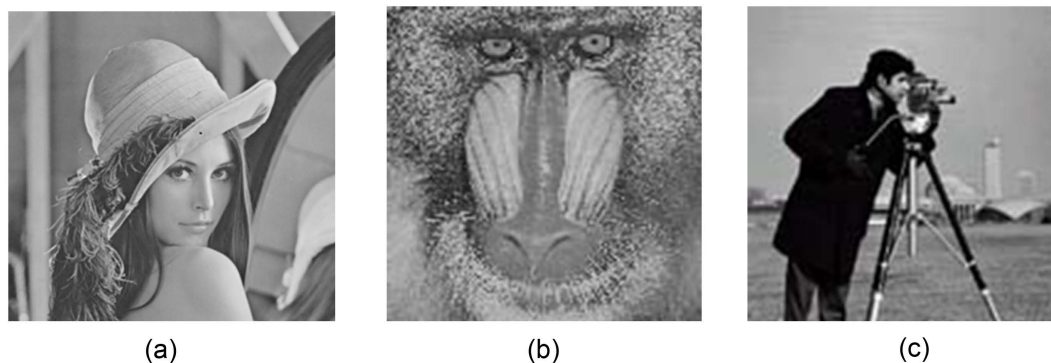


Figure 3. Original testing image: (a) Lena; (b) Mandrill; (c) Camera
图 3. 检原始测试图像: (a) Lena; (b) Mandrill; (c) Camera

Table 1. Watermark detection results under various watermarking attack
表 1. 不同水印攻击下鲁棒水印的检测结果

水印攻击类型	测试图像	攻击强度及其检测效果			
加噪	Lena	PSNR	41.312	36.714	31.653
		BER	0%	0%	2.11%
	Mandrill	PSNR	40.375	35.318	32.986
		BER	0%	0%	3.13%
	Camera	PSNR	40.407	36.512	32.313
		BER	0%	0%	1.22%
局部模糊化	Lena	PSNR	40.136	35.472	31.433
		BER	0%	0%	1.51%
	Mandrill	PSNR	40.435	36.375	32.943
		BER	0%	0%	2.38%
	Camera	PSNR	41.404	35.775	32.211
		BER	0%	0%	1.33%
剪切	Lena	PSNR	40.954	36.145	31.354
		BER	0%	0%	2.32%
	Mandrill	PSNR	41.278	35.175	32.290
		BER	0%	0%	2.62%
	Camera	PSNR	40.552	36.102	31.536
		BER	0%	0%	1.61%

5. 结论

零水印方案和多通道水印方案都是提高图像水印鲁棒性的重要方法。传统的零水印方案中, 水印图像虽然没有任何失真, 但是需要通过提取原始图像的特征来构造水印。一旦图像的特征不明显, 或者图像特征在水印攻击中失真严重, 则在检测阶段无法检测出水印。传统的多通道水印方案则将鲁棒水印嵌入到原始图像的多个水印通道中, 这无疑相当于成倍地向图像中加入噪声, 从而使得水印图像的隐形性能差。本文将零水印方案和多通道水印方案结合起来, 基于 SVM 训练水印样本集生成各水印通道的决策函数, 实现零水印的“嵌入”和检测。该方案水印图像零失真, 且能抵抗各种高强度的水印攻击。

致 谢

本文的工作得到福建省自然科学基金项目(编号: 2016J01327)的资助, 特此感谢。

参考文献

- [1] Amini, M., Sadreazami, H., Omair Ahmad, M. and Swamy, M.N.S. (2019) A Channel Dependent Statistical Watermark Detector for Color Images. *IEEE Transactions on Multimedia*, **21**, 65-73. <https://doi.org/10.1109/TMM.2018.2851447>
- [2] Amini, M., Sadreazami, H., Ahmad, M.O., et al. (2017) Multichannel Color Image Watermark Detection Utilizing Vector-Based Hidden Markov Model. *IEEE International Symposium on Circuits & Systems*, Baltimore, 28-31 May 2017, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ISCAS.2017.8050596>
- [3] Agarwal, R., Santhanam, M.S. and Venugopalan, K. (2011) Multichannel Digital Watermarking of Color Images Using SVD. 2011 *International Conference on Image Information Processing (ICIIP)*, Shimla, 3-5 November 2011, 1-6. <https://doi.org/10.1109/ICIIP.2011.6108893>

- [4] Xie, R.S., Hong, C.Q., Zhu, S.Z. and Tao, D.P. (2015) Anti-Counterfeiting Digital Watermarking Algorithm for Printed QR Barcode. *Neurocomputing*, **167**, 625-635. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.04.026>
- [5] Namuduri, V.R., Pandit, S.N.N., Kothinti, K., *et al.* (2007) A Framework for Estimating the Capacity of Multi Channel Digital Image Watermarking. *Conference on Information Sciences & Systems*, Baltimore, 14-16 March 2007, 900-904. <https://doi.org/10.1109/CISS.2007.4298438>
- [6] Zheng, J.B., Feng, D.D. and Zhao, R.C. (2005) A Multi-Channel Framework for Image Watermarking. *International Conference on Machine Learning & Cybernetics*, **8**, 5099-5104.
- [7] 欧阳苗, 袁玉敏, 吴春红. 基于 shamir 和奇异值分解的小波域多通道水印算法[J]. 鄂州大学学报, 2012, 19(5): 5-9.
- [8] 王春鹏, 王兴元, 张川, 等. 基于三元数极谱-Fourier 矩和混沌映射的立体图像零水印算法[J]. 中国科学: 信息科学, 2018(1): 79-99.
- [9] 胡裕峰, 朱善安. 基于 PCA 和混沌置乱的零水印算法[J]. 浙江大学学报(工学版), 2008, 42(4): 593-597.
- [10] 温泉, 孙铨锋, 王树勋. 零水印的概念与应用[J]. 电子学报, 2003, 32(2): 214-216.