

基于伪随机的图像水印算法

唐永军

引用本文:

唐永军. 基于伪随机的图像水印算法[J]. 液晶与显示, 2020, 35(3): 287–291.

TANG Yong-jun. Image watermarking algorithms based on pseudo-random method[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2020, 35(3): 287–291.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203503.0287>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于极限学习机和离散小波变换的视频水印算法

Video watermarking algorithm based on extreme learning machine and discrete wavelet transform

液晶与显示. 2020, 35(2): 180–188 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20203502.0180>

基于计算全息的强鲁棒性自适应水印算法

Adaptive watermarking algorithm based on CGH with strong robustness

液晶与显示. 2015, 30(1): 170–179 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20153001.0170>

基于视觉特性和纹理特征的图像水印算法研究

Image watermarking algorithm based on the visual characteristics and the texture features

液晶与显示. 2018, 33(6): 511–519 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20183306.0511>

基于人眼对比敏感视觉特性的彩色图像盲水印算法

Blind watermarking algorithm for colour image based on human visual contrast sensitivity characteristics

液晶与显示. 2017, 32(8): 642–649 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173208.0642>

基于小波域Curvelet变换的湍流图像去噪算法

Atmospheric turbulence image denoising algorithm based on wavelet-domain curvelet transform

液晶与显示. 2017, 32(11): 905–913 <https://doi.org/10.3788/YJYXS20173211.0905>

文章编号:1007-2780(2020)03-0287-05

基于伪随机的图像水印算法

唐永军*

(湖南财经工业职业技术学院, 湖南 衡阳 421002)

摘要: 由于通信技术和互联网的不断发展, 诸多互联网应用如大规模网络游戏、网络支付和金融防伪都受到了安全方面的威胁和风险。为了能够在传输过程中对数据进行加密从而防止恶意篡改, 本文在研究分析了主流水印算法的隐蔽性和鲁棒性基础上, 提出了一个基于伪随机算法的离散小波变换水印方案。该方案将二进制伪随机数嵌入到离散小波变换(DWT)的 HL 和 LH 域中, 利用伪随机数提升了数字水印的隐蔽性和鲁棒性。仿真结果表明, 该算法具有较高的安全性和鲁棒性, 能够有效抵抗各种攻击算法如 SPIHT 压缩、高斯滤波、椒盐噪声等, 其峰值信噪比(PSNR)和归一化相关(NC)值都比传统水印算法有 10% 以上的提升。本文算法在整体上能满足数字水印的性能稳定、抗攻击能力强、隐蔽性高等要求。

关键词: 离散小波变换; 水印算法; 伪随机噪声序列; 峰值信噪比

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20203503.0287

Image watermarking algorithms based on pseudo-random method

TANG Yong-jun*

(Hunan Finance & Industry Vocational-technical College, Hengyang 421002, China)

Abstract: With the continuous development of communication technology and large data, many internet applications such as the large-scale network games, network payment and financial anti-counterfeiting are threatened and risked by security. In order to encrypt data in the transmission process and prevent malicious tampering, the concealment of the mainstream watermarking algorithm is studied and analysed. On the basis of robustness and robustness, a watermarking scheme of discrete wavelet transform based on pseudo-random algorithm is proposed. The algorithm embeds binary pseudo-random number into HL and LH domains of discrete wavelet transform (DWT), and uses pseudo-random number to enhance the concealment and robustness of digital watermarking. The simulation results show that the algorithm has high security and robustness, and can effectively resist various attack algorithms such as SPIHT compression, Gauss filtering, salt and pepper noise. Its peak signal-to-noise ratio (PSNR) and normalized correlation (NC) values are more than 10% higher than the traditional watermarking algorithm. The algorithm in this paper can meet the requirements of stability, reliability, strong anti-interference and high concealment of digital watermarking on the whole.

Key words: discrete wavelet transform; watermarking algorithm; pseudo-random noise sequence; peak signal-to-noise ratio

收稿日期: 2019-06-05; 修订日期: 2019-10-16.

* 通信联系人, E-mail: Tang_yongjun0802@163.com

1 引言

随着互联网时代的到来,大量的数据都在网络中进行通信,随之引发的安全问题也越来越严重。数字水印作为一种有效的防伪手段,受到了学术界的高度重视,近年来很多学者都对此做出了不少研究,提升了数字水印的实际性能^[1-3]。姚军财等^[4]提出了一种彩色图像的盲水印算法。算法首先结合人眼对比敏感度视觉特性及其模型,在频域中计算人眼感知原始图像的对比敏感度阈值,保证了水印的透明性。陈善学等^[5]利用最低有效位(LSB)方法,提出了一种数字水印在空间域进行信息隐藏的方案,该算法利用 QDCT 的低频模值系数嵌入空域的最低有效位,在抗 JPEG 压缩、噪声、对比度调节都取得了较好的效果。王莹等^[6]提出了基于 QR 分解的 Contourlet 域算法,对各种网络攻击具有较好的鲁棒性,但是在水印隐藏方面则效果较差。总体来说,数字水印性能有两大指标,即数字水印的隐蔽性以及鲁棒性,而两者又具有一定的矛盾,需要平衡。因此需要考虑一种能够将水印信息更加隐蔽地隐藏到宿主图像,同时利用图像本身特征使水印方案对多种类型的攻击具有更强鲁棒性^[7]。

本文提出一种基于小波变换的水印方案,在宿主图像的基础上进行水印信息提取,再根据提取出的水印,向覆盖对象添加伪随机噪声序列(PN)。实验基于(512×512)大小的图像和大小为(8×8)的离散小波变换(DWT)块,能更好地抵抗高斯滤波等攻击。

2 PN 序列水印算法

2.1 算法简介

本文提出改进的离散小波变换(DWT)的图像伪随机噪声(PN)序列水印算法。在本文算法中,用小波变换对 LH 和 HL 子带进行分解^[8]。HAAR 小波是一种正交归一化小波,具有计算快速、完全可逆、没边缘效应等优势^[9]。Haar 小波从水平和竖直两个方向进行低通和高通滤波,因此本文的数字水印也从两个方向分别生成。算法中使用的水印以数字签名形式存在,该水印签名采用伪随机码的方式嵌入到输入图像的变换系

数中。

对于每个位图信息,都生成两个不同的伪随机噪声(PN)矩阵,与小波系数矩阵的大小相同^[10]。将相应的两个 PN 序列值分别加到对应的第一级 LH 和 HL 系数值中,如公式(1)所示:

$$W = V + kX \quad \text{if } b = 0, \quad (1)$$

其中: V 是宿主图像的小波系数, W 是水印嵌入后的小波系数, k 是增益因子, X 是 PN 值, b 是需要嵌入的水印位。此时嵌入每个像素的水印是利用了 PN 值的伪随机性,因此增强了水印算法的安全性。

2.2 水印嵌入过程

假设大小为 $M \times N$ 的图像 $I(M, N)$ 用作输入,整个水印的嵌入流程如下:

步骤 1:读取要隐藏的消息并将其转换为二进制序列 $D_d (D_d = 1 \sim n)$ 。

步骤 2:使用 Haar 小波变换对输入图像进行变换,并获得第一级子带系数 ccA, ccH, ccV, ccD 。

步骤 3:使用密钥生成大小为 $\frac{N}{4} \times \frac{M}{4}$ 的 n 个不同的 PN 序列对(PN_h 和 PN_v)作为水印的随机数。

步骤 4:对于 $D_d = 1 \sim n$,当添加位图信息 message 为 0 时,PN 序列为 ccH 和 ccV 。

$$ccH = ccH + k * PN_h, \quad (2)$$

$$ccV = ccV + k * PN_v, \quad (3)$$

其中: k 是用于指定嵌入数据强度的增益因子。然后用逆 Haar 小波变换生成最终的水印图像 $I_w(M, N)$ 。整个流程如图 1 所示。

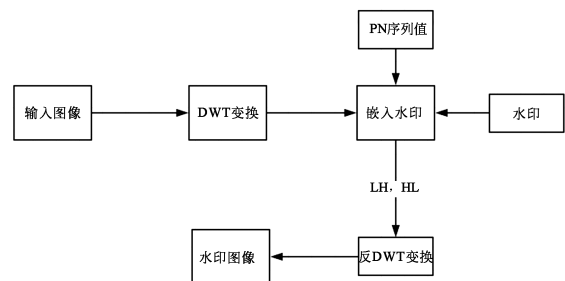


图 1 水印嵌入过程

Fig.1 Watermarking embedding process

2.3 水印提取工艺

为了检测水印,在水印插入过程中,使用相同的状态密钥生成并使用相同的伪随机值,同时用

两个细节子带的 DWT 系数确定其平均相关性。然后,对于 IH 和 HI 子带,得到了对应于每个 PN 值的 N 个相关系数的平均值,最后将相关值的均值作为消息提取的阈值 t 。在检测过程中,如果特定序列的平均相关性超过 t ,则设置为“0”;否则设置为“1”。然后,恢复过程在整个 PN 序列中进行迭代,直到恢复水印的位图信息。为了提取水印,对图 2 所示的水印图像应用以下步骤:

步骤 1:读取水印图像 $I_w(M, N)$,利用 Haar 小波变换对水印图像进行变换,得到 CCA1、CCH1、CCV1、CCD1 系数。

步骤 2:生成 $1 \sim n$ 的消息向量,并用相同密钥生成大小为 $\frac{N}{4} \times \frac{M}{4}$ 的 PN 序列对 (PN_h1 和 PN_v1)。

步骤 3:利用以上步骤生成的 PN 序列对,计算其相关系数,并将这些值存储在 $\text{corr_h}(i)$ 和 $\text{corr_v}(i)$ 中。

步骤 4:计算相关平均值 $\text{corr}(i) = (\text{corr_uh}(i) + \text{corr_v}(i))/2$ 。

步骤 5:对计算结果进行水印信息的提取。

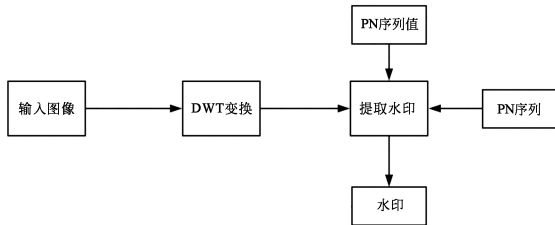


图 2 水印提取过程

Fig.2 Watermarking extraction process

3 实验结果及分析

本文采用宿主图像为 256×256 像素的图片进行实验,水印图像大小为 32×32 像素。Haar 小波滤波器用于小波分解,将宿主图像分解为 4 个子带 LL、LH、HL 还有 HH。水印图像嵌入在 LH 和 HL 子带。嵌入和提取水印的流程如图 1 和图 2 所示。在隐蔽性方面的评价,实验将峰值信噪比输入和水印之间的比率 (PSNR) 作为隐蔽性性能的主要指标,PSNR 以分贝作为单位。PSNR 取决于平均值平方误差 (MSE),根据公式 (4)、(5) 计算出,公式中的 I_v 和 I_w 代表原始图像

和水印图像, M 和 N 为图像大小:

$$K_{\text{MSE}} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (I_0(i, j) - I_w(i, j))^2, \quad (4)$$

$$K_{\text{PSNR}} = 10 \lg \left(\frac{255 \times 255}{K_{\text{MSE}}} \right). \quad (5)$$

在鲁棒性的比较方面,本文用标准化的相关性来进行比较。在提取水印之后,用输入水印和提取水印的归一化相关系数 (NCC) 来判断水印的存在性。在公式中, h 和 w 分别是水印的高度和宽度, $W_o(i, j)$ 和 $W_e(i, j)$ 是坐标轴 (i, j) 的原始值和加入水印后像素值,

$$K_{\text{NCC}} = \frac{\sum_{i=0}^{h-1} \sum_{j=0}^{w-1} W_o(i, j) \times W_e(i, j)}{h \times w}. \quad (6)$$

图 3 中表示 PSNR 值与高斯滤波不同窗口值大小下 (0~10) 的结果。本实验采用经典的水印算法进行对比,算法 2 是 Hiratsuka 提出的 Patchwork 算法^[11],算法 3 是 Chang 等提出的 DCT 算法^[12],算法 4 是 Maroua 等提出的 Fourier-Mellin 算法^[13],算法 5 是 Etemad 提出的加性 Contourlet 算法^[14],可以看到本文提出的算法的 PSNR 值始终保持 41 dB 以上的值,在不同的窗口大小的表现平稳,明显好于其他算法,平均 PSNR 有 10% 以上的改善。

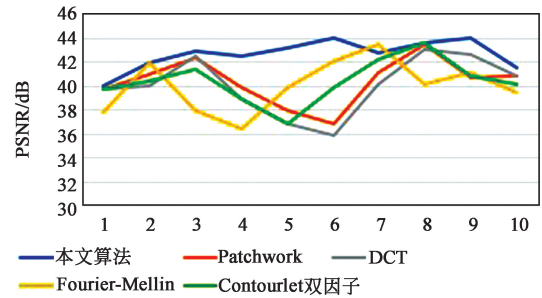


图 3 高斯滤波下各算法 PSNR 值对比

Fig.3 PSNR values obtained by Gaussian filter

图 4 中的图形是不同水印算法在 SPHIT 压缩攻击中不同压缩比例的情况下 NC 值的比较。可以看到本文算法能保持在 0.84 以上的 NC 值,而其他算法的 NC 值明显较低,其中 Contourlet 双因子算法的 NC 值始终处于 0.6 以下,其他算法在稳定性方面也不如本文算法,波形比较陡峭。

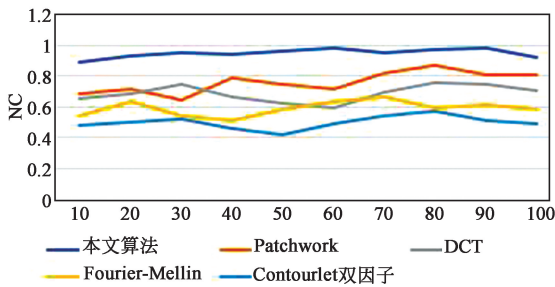


图 4 SPIHT 压缩下各算法 NC 值对比
Fig.4 PSNR values obtained by the different algorithms for SPIHT compression

对于几种水印技术,图 5 显示了在椒盐噪声攻击下,不同噪声密度(0~1)的 PSNR 值。在从密度为 0~1 的噪声攻击下,本文算法的 PSNR 值表现都优于比对的经典算法,以噪声密度为 0.6 的情况为例,本文提出的算法的 PSNR 在 39 db,同样情况下 PatchWork 为 31 db,传统 DCT 为 28 db,Fourier-Mellin 为 34.8 db,Contourlet 双因子算法为 29.8 db。

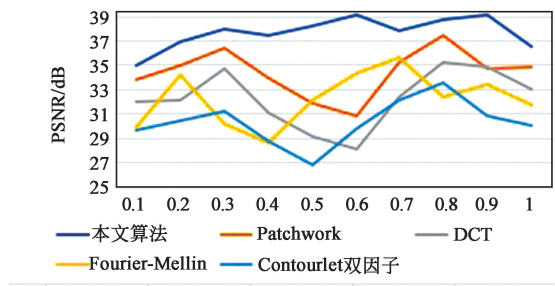


图 5 椒盐噪声攻击下不同算法的 PSNR 值
Fig.5 PSNR values obtained by the different algorithms for Gaussian filtering

通常对水印图像的攻击有叠加噪声,平滑滤波,JPEG 压缩等方式。本文对上述攻击的抵抗能力进行测试,将结果用归一化系数来表示,参数和结果如表 1 所示。

从表 1 可以看到,本文提出的算法在针对常

表 1 水印攻击参数和结果

Tab.1 Watermark attack parameters and results

攻击方式	参数	归一化相关系数
叠加噪声	随机分布(10%)	0.987
	均匀分布(15%)	0.965
JPEG 压缩	质量系数 65%	0.929
	质量系数 75%	0.976
平滑滤波	中通过滤波	0.961
	低通过滤波	0.952

见的攻击,都能将归一化系数保持在 0.95 以上,其中对 10%随机分布的叠加噪声的抗攻击能力最强为 0.987,总体而言本文算法具有较高抗攻击能力,鲁棒性较强。

4 结 论

本文提出并实现了一种基于 PN 序列的离散小波水印算法。该算法采用二进制图像作为水印,即使在原始水印和提取水印之间的相关性较低的情况下,也可以通过恢复水印来增加鲁棒性。在本文实现的算法中,通过对各种尺寸窗口 1~10 的高斯滤波攻击,峰值信噪比值表现稳定,与 PatchWork、DCT 等算法相比,隐蔽性和鲁棒性具有较明显的提高。在不同压缩比例下的 SPIHT 攻击中,本文算法能稳定在 0.8 以上的 NC 值,特别在压缩比为 10~90 的范围内,算法的 NC 值明显对比算法更加稳定。在所有噪声密度为 0~1 的椒盐噪声攻击下,本文算法具有很高的安全性,PSNR 的值基本稳定在 35 dB 以上。通过以上实验证明,本文提出的算法具有很强的鲁棒性,同时具有良好的稳定性,能适用于版权保护、军事、医疗和执法等相关图像处理领域,为企业级数据加密保护提供有益参考。

参 考 文 献:

[1] 吴佳楠,王世刚,张迪,等. 融合量子密钥真随机性的二值图像水印 [J]. 光学 精密工程, 2017, 25(11): 2968-2974.
WU J N, WANG S G, ZHANG D, *et al.* Binary image watermark fusionbased on quantum key true randomness [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2017, 25(11): 2968-2974. (in Chinese)

- [2] 王玉海, 朱长青, 苏守宝, 等. 结合感知哈希与数字水印的遥感影像认证方法 [J]. 光学 精密工程, 2016, 24(10s): 640-648.
WANG Y H, ZHU C Q, SU S B, *et al.* An authentication method based on perceptual hashing and watermarking for remote sensing image [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2016, 24(10s): 640-648. (in Chinese)
- [3] 蒋刚毅, 李文锋, 郁梅, 等. H.264/AVC 压缩域鲁棒视频水印 [J]. 光学 精密工程, 2015, 23(1): 260-270. JIANG G Y, LI W F, YU M, *et al.* Robust video watermarking in H.264/AVC compressed domain [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2015, 23(1): 260-270. (in Chinese)
- [4] 姚军财. 基于人眼对比敏感视觉特性的彩色图像盲水印算法 [J]. 液晶与显示, 2017, 32(8): 642-649.
YAO J C. Blind watermarking algorithm for colour image based on human visual contrast sensitivity characteristics [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(8): 642-649. (in Chinese)
- [5] 陈善学, 漆若兰, 唐义娜. 基于多变换域的彩色图像多功能水印算法 [J]. 计算机应用, 2018, 38(8): 2274-2279, 2286.
CHEN S X, QI R L, TANG Y Y. Multi-purpose watermark algorithm for color image based on multiple transform domains [J]. *Journal of Computer Applications*, 2018, 38(8): 2274-2279, 2286. (in Chinese)
- [6] 王莹, 朱春伟, 方帅. 一种基于 QR 分解的 Contourlet 域盲数字水印算法 [J]. 网络安全技术与应用, 2018(4): 18-21.
WANG Y, ZHU C W, FANG S. A contourlet domain blind digital watermarking algorithm based on QR decomposition [J]. *Network Security Technology & Application*, 2018(4): 18-21. (in Chinese)
- [7] 王赛娇, 袁文强. 结合多目标演化 and 图像自身纹理特征的智能水印算法 [J]. 计算机与数字工程, 2019, 47(6): 1472-1477.
WANG S J, YUAN W Q. An intelligent watermarking algorithm combining multi-objective evolutionary and image itself texture feature [J]. *Computer and Digital Engineering*, 2019, 47(6): 1472-1477. (in Chinese)
- [8] 刘九芬, 黄达人, 胡军全. 数字水印中的正交小波基 [J]. 电子与信息学报, 2003, 25(4): 453-459.
LIU J F, HUANG D R, HU J Q. The orthogonal wavelet bases for digital watermarking [J]. *Journal of Electronics and Information Technology*, 2003, 25(4): 453-459. (in Chinese)
- [9] FRYZLEWICZ P, NASON G P. A Haar-Fisz algorithm for poisson intensity estimation [J]. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 2004, 13(3): 621-638.
- [10] 杨娜. 基于遗传-超混沌的数字图像加密算法设计 [J]. 液晶与显示, 2017, 32(6): 474-481.
YANG N. Digital image encryption algorithm design based on genetic-hyperchaos [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(6): 474-481. (in Chinese)
- [11] HIRATSUKA K, KONDO K, NAKAGAWA K. On the accuracy of estimated synchronization positions for audio digital watermarks using the modified patchwork algorithm on analog channels [C]//*Proceedings of 2008 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*. Harbin, China: IEEE, 2008.
- [12] CHANG T J, PAN I H, HUANG P S, *et al.* A robust DCT-2DLDA watermark for color images [J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2019, 78(7): 9169-9191.
- [13] AFFES M, MEZIOU M S, GHORBEL F. A new watermarking method based on analytical Clifford Fourier Mellin transform [C]//*Proceedings of the 7th International Workshop on Representations, Analysis and Recognition of Shape and Motion from Imaging Data*. Savoie, France: Springer, 2017.
- [14] ETEMAD S, AMIRMAZLAGHANI M. Additive watermark detector in contourlet domain using the t location-scale distribution [C]//*Proceedings of the 2nd International Conference of Signal Processing and Intelligent Systems*. Tehran, Iran: IEEE, 2016.

作者简介:



唐永军(1973—),男,湖南衡阳人,硕士,副教授,2013年于湖南大学获得硕士学位,主要从事网络信息安全、软件工程、信息系统应用及开发等方面的研究。E-mail: Tang_yongjun0802@163.com