

计算机应用研究 优先出版

原创性 时效性 就是科研成果的生命力
《计算机应用研究》编辑部致力于高效的编排
为的就是将您的成果以最快的速度
呈现于世

* 数字优先出版可将您的文章提前 8~10 个月发布于中国知网和万方数据等在线平台

一种基于 zigzag 扫描的 DCT 鲁棒数字盲水印算法

作者	杨战旗, 高玉龙, 张亚萍, 汤永利
机构	河南工业和信息化职业学院 信息工程系 ; 河南理工大学 计算机科学与技术学院
发表期刊	《计算机应用研究》
预排期卷	2018 年第 35 卷第 5 期
访问地址	http://www.arocmag.com/article/02-2018-05-054.html
发布日期	2017-05-25 09:22:51
引用格式	杨战旗, 高玉龙, 张亚萍, 汤永利. 一种基于 zigzag 扫描的 DCT 鲁棒数字盲水印算法[J/OL]. [2017-05-25]. http://www.arocmag.com/article/02-2018-05-054.html .
摘要	针对提高水印算法的鲁棒性进行研究, 提出一种基于 zigzag 扫描的 DCT 鲁棒数字盲水印算法。算法对分块后 DCT 域的中、低频系数进行 zigzag 扫描得到一维数列, 利用每个数列数学范数比值和量化索引调制原理实现数字水印的嵌入, 然后通过最小距离公式对水印提取。与其他算法相比, 实验结果显示算法能够抵抗多种攻击, 具有较好的透明性与鲁棒性。水印提取过程不需要原载体图像, 实现水印信息盲提取。
关键词	离散余弦变换, 量化索引调制, 量化步长, 数字水印
中图分类号	TP309.2
基金项目	国家自然科学基金资助项目 (61300216); 河南省科技厅资助项目 (152102410048, 142300410147); 河南省教育厅资助项目 (12A520021, 16A520013); 河南理工大学博士基金资助项目 (B2013-043, B2014-044)

一种基于 zigzag 扫描的 DCT 鲁棒数字盲水印算法^{*}

杨战旗¹, 高玉龙², 张亚萍², 汤永利^{2*}

(1. 河南工业和信息化职业学院 信息工程系, 河南 焦作 454000; 2. 河南理工大学 计算机科学与技术学院, 河南 焦作 454000)

摘要: 针对提高水印算法的鲁棒性进行研究, 提出一种基于 zigzag 扫描的 DCT 鲁棒数字盲水印算法。算法对分块后 DCT 域的中、低频系数进行 zigzag 扫描得到一维数列, 利用每个数列数学范数比值和量化索引调制原理实现数字水印的嵌入, 然后通过最小距离公式对水印提取。与其他算法相比, 实验结果显示算法能够抵抗多种攻击, 具有较好的透明性与鲁棒性。水印提取过程不需要原载体图像, 实现水印信息盲提取。

关键词: 离散余弦变换; 量化索引调制; 量化步长; 数字水印

中图分类号: TP309.2

Robust digital blind watermarking algorithm using discrete cosine transform based on zigzag scanning

Yang Zhanqi¹, Gao Yulong², Zhang Yaping², Tang Yongli^{2*}

(1. Dept of Information Engineering, Henan College of Industry & Information Technology, Jiaozuo Henan 454000, China; 2. College of Computer Sciences & Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo Henan 454000, China)

Abstract: In order to improve the robustness of digital watermarking algorithm, this paper proposes a DCT robust blind digital watermarking algorithm based on zigzag scan. The algorithm performs zigzag scanning on the block DCT low and middle frequency coefficients to obtain one-dimensional sequence, embeds the digital watermarks by the similarity of the mathematical norm ratio and the quantization index modulation principle and extracts by using minimum Euclidean distance. Experimental results confirm the superiority of the proposed technique against common attacks in comparison with other algorithms. Watermarking extraction does not need the host image.

Key Words: Discrete cosine transform; Quantization index modulation; Quantization step; Digital watermarking

0 引言

研究透明性和鲁棒性更佳的水印算法, 对保护数字产品的版权至关重要。在数字产品中嵌入特殊标记并对标记检测, 测定数字信息的完整性和其所有权的合法性, 是数字水印技术的一般实现手段^[1]。本文主要研究一种基于图像的盲水印算法。

数字水印根据水印嵌入的位置不同可分为空域水印算法和频域水印算法。其中频域水印算法具备优良的透明性和鲁棒性, 在数字版权保护中被广泛研究和应用^[2]。频域水印算法将空域中的图像系数较为发散的能量转变成频域较为集中能量的方式。其中 DCT 变换原理是对载体图像边界折叠, 使载体图像变换为偶函数(余弦), 再利用二维离散傅里叶变换原理, 最终结果只含余弦项^[3]。

Chen 基于量化的思想提出一种量化索引调制 QIM 的信息隐藏方式^[4]。根据量化索引调制的思想, 文献[5]提出一种基于 DWT 域的对数量化索引调制数字水印算法, 其中通过对数量化的方式将水印信息嵌入到载体图像 DWT 域的高能量块中, 但水印嵌入中采用失真补偿 DC(distortion compensated)的量化索引调制 DC-QIM, 使算法实现过程较为复杂; 文献[6]采用最小变形角度量化投影的性质, 提出一种改进的 AQIM 水印算法 IAQIM, 降低嵌入水印后载体信号的失真度; 文献[7]将 QIM 与相对调制算法 RM (relative modulation)相结合, 提出混合调制的水印算法 MM (mixed modulation), 但算法需调整其中的参数来保证鲁棒性的同时还要减轻相对调制算法对 QIM 算法水印透明性的影响; 文献[8]中提出加密域上一种新的可逆图像信息隐藏算法。利用公共密钥调制嵌入水印信息, 具备很强的信息嵌

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61300216); 河南省科技厅资助项目 (152102410048, 142300410147); 河南省教育厅资助项目 (12A520021, 16A520013); 河南理工大学博士基金资助项目 (B2013-043, B2014-044)

作者简介: 杨战旗 (1975-), 男, 讲师, 硕士, 主要研究方向为信息安全、计算机网络技术; 高玉龙 (1989-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为信息安全、数字水印技术; 张亚萍 (1993-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为信息安全; 汤永利 (1972-), 男 (通讯作者), 教授, 博士, 主要研究方向为网络与信息安全、密码学 (yltang@hpu.edu.cn)。

入能力;文献[9]利用水印加密图像,并在加密域或解密域中检测水印信息,其提取水印信息误码率低,鲁棒性强;文献[10]提出一种通过选择最优通道的改进图像数字水印算法,算法基于系数量化技术,选取最优的颜色通道来提高嵌入水印的透明性和鲁棒性;Wang 等人提出一种基于轮廓小波变换的图像数字水印算法^[11],算法基于轮廓小波变换的特点,简单有效;由于 LU(lower upper)分解对水印视觉影响小,文献[12]中提出一种基于 LU 分解和离散小波变换的图像数字水印算法,获得很好的效果。

通过对以上基于变换域的图像数字水印算法的研究,本文提出一种基于 zigzag 扫描的 DCT 鲁棒数字盲水印算法。算法采用 zigzag 扫描的方式提取前 n 项 DCT 系数,利用数学范数和量化索引调制的原理实现水印嵌入,然后通过最小距离公式对水印提取。测试结果显示算法实现有效且透明性和鲁棒性较好。

1 算法描述

1.1 DCT 系数

以 8×8 分块为例,每个分块经过 DCT 变换后,得到 64 个不同空间频率基图像的谱^[13],即 DCT 系数。DCT 域系数中,人类视觉感知对中、低频分量十分敏感,若含有水印的载体图像受到攻击,使图像视觉效果变差,人类视觉感知系统可以感知图像受到攻击。另外在 DCT 域的中、低频分量中嵌入水印信息,水印容量较大,可满足大容量的水印信息嵌入。因此本文算法将水印嵌入在 DCT 域的中、低频分量中。

1.2 zigzag 扫描 DCT 系数

同样以 8×8 分块为例,载体图像分块后经过二维 DCT 变换,得到一块由 64 个 DCT 系数组成的系数块,如图 1。从左上角开始,对矩阵以“之”字形路线按照图中数字的顺序依次进行扫描取数。由此得到一个一维数列。按照图 1 的变换过程对矩阵中各个元素进行的置乱方式称为 zigzag 变换^[14]。数字图像每块 DCT 域中的系数以矩阵表示,按照图 1 中的方式对每块 DCT 系数进行扫描,取其前 n 项系数嵌入数字水印。

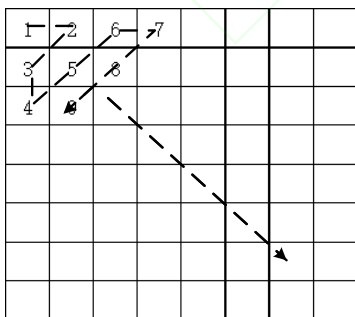


图 1 zigzag 扫描 DCT 系数

1.3 数学范数

根据 QIM 原理,攻击前后,若 QIM 量化因子受到的影响越小,则水印提取越准确,即水印算法的鲁棒性越好。本文算法利用数学范数的性质和 QIM 的量化原理实现水印的嵌入和提取。

其中数学范数采用欧式范数,即欧式距离。若其距离越近就越

相似,越易相互干扰,即误码率越高。反之则误码率越低,即水印算法鲁棒性就越好。因此,将 zigzag 扫描提取出的 DCT 系数前 n 项得到一维数列并均分,以数列两部分数值的欧式范数的比值作为 QIM 的量化因子,在载体图像中嵌入水印。根据测试结果,调整 n 值的大小和 DCT 系数的分块,使该比值在攻击前后所受影响最低,即鲁棒性最佳。

2 算法实现

2.1 嵌入水印

a)以 16×16 的方式对载体图像分块并对每个分块进行二维 DCT 变换;

b)对各 16×16 的 DCT 系数块中的 DCT 系数按照 zigzag 扫描读取,取每个分块的前 n 个 DCT 系数设为一个数列,则得到中、低频分量数列 $u = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\}$;

c)每个分块的数列 u 分别取出各个数列的偶数列 $x_i = u_{2i}$ 和奇数列 $y_i = u_{2i-1}$;

d)由式(1)得到各个偶数列 x_i 和奇数列 y_i 的范数 lx 和范数 ly :

$$lx = \left(\frac{2}{h} \sum_{i=1}^{\frac{h}{2}} |u_{2i}|^2 \right)^{\frac{1}{2}}, ly = \left(\frac{2}{h} \sum_{i=1}^{\frac{h}{2}} |u_{2i-1}|^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

e)设 $z = \frac{lx}{ly}$, 将 z 值作为 QIM 的量化因子代入式(2), $m \in \{0, 1\}$

$$z_q = Q_m(z) = \Delta \text{round} \left(\frac{z + m\Delta/2}{\Delta} \right) - m \frac{\Delta}{2} \quad (2)$$

f)设 $k = \sqrt{\frac{z_q}{z}}$, 将之前中、低频分量数列 x_i 和 y_i 如公式

(3)进行运算,得到新的中、低频分量数列,替换各分块的原中、低频分量数列。经过逆 DCT 变换,得到含水印的图像。

$$x'_i = kx_i = ku_{2i}, y'_i = y_i/k = u_{2i-1}/k \quad (3)$$

2.2 提取水印

提取水印的前四个步骤与水印嵌入时相同,分别求出含水印图像的每块中、低频系数偶数列的范数 lx' 和奇数列的范数 ly' 。

a)每个中、低频分量偶数列的范数 lx' 和奇数列的范数 ly'

新的比值设为 z_1 :

$$z_1 = lx'/ly'$$

(4)

b)根据 QIM 原理,将比值 z_1 代入最小距离公式,提取水印:

$$\hat{m} = \arg \min_{m \in \{0,1\}} |z_1 - Q_m(z_1)|$$

(5)

3 实验结果及分析

在 MATLAB 2015 软件环境下。在标准数字水印测试图像库中,选用 6 张纹理不同的 512×512 像素灰度图作为载体图像:Lena、Airfield、Airplane、man、Boats、Peppers 进行测试说明;用图 3 中 24×24 像素水印图像 Logo 作为水印信息按照 2.1 算法步骤嵌入此 6 张灰度图中,得到 6 张含水印信息的载体图像。嵌入结果如图2所示,其中(a)~(f)依次是以上 6 张原始载图图像,(g)~(l)分别是含有水印信息的载体图像。

图像数字水印算法的性能评价参数为提取水印误码率 BER、峰值信噪比 PSNR、归一化相关系数 NC。含水印信息载体图像被攻击后,水印信息提取 BER 越低,NC 越趋近于 1,即表示水印算法鲁棒性越强。另一方面 PSNR 越大,表示水印嵌入对原图像视觉效果影响小,即水印算法透明性强。

以 Lena 图像为例,图 3 为按照文中 2.1 和 2.2 的算法步骤完成的水印嵌入与提取的测试结果。(a)、(b)分别是原水印和水印提取结果,(c)、(d)分别是原载体图像和嵌入水印后的载体图像。测试结果显示本文算法能够实现水印信息提取准确并完整,且载体图像在水印嵌入前后差异不大。

3.1 透明性分析

测试 6 张灰度图嵌入水印后的 PSNR 和以及提取水印的 BER,结果如表 1。

表 1 水印嵌入后的测试结果

Image	PSNR/dB	BER
Lena	36.3691	0.0000
Airfield	37.0163	0.0000
Airplane	42.7437	0.0000
Man	40.8533	0.0000
Boats	36.9783	0.0000
Peppers	35.5583	0.0000

由图 2 水印前后载体图像的比较和表 1 中的结果可以看出,其 PSNR 值均高于阈值 35dB,水印嵌入对载体图像视觉效果影响小,该算法具备良好的透明性。同时 BER 均为 0,表明本文算法能够准确提取出水印。



图 2 不同载体图像嵌入水印前后的比较

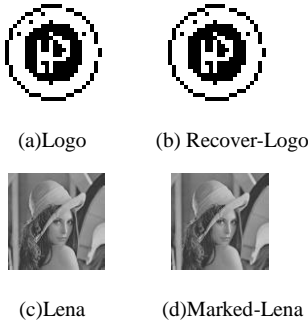


图 3 水印嵌入和提取测试结果

3.2 鲁棒性分析

如图 4 所示,在原载体图像(a)Lena 中嵌入水印(b)Logo,得到一张含水印的载体图像(c) Marked-Lena。使图像(c) Marked-Lena 分别经过常见的图像攻击算法,验证本文算法的鲁棒性。以 NC 和 BER 作为本文算法鲁棒性的性能评价参数。

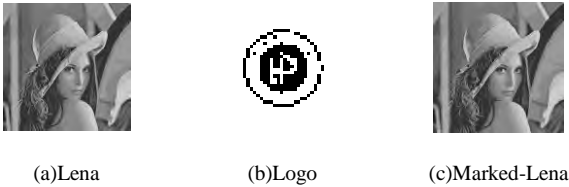


图 4 载体图像嵌入前后及水印图像

以 JPEG 图像压缩、中值滤波、泊松噪声、图像缩放等常见的图像攻击算法作为攻击测试,结果如表 2 所示。其中 JPEG 压缩攻击质量因子(Quality Factor, QF)分别为 90 和 60。根据表 2 中 NC 值和 BER 值的大小以及水印提取效果,表明该算法有较好的鲁棒性。

表 2 图像受攻击后的实验结果

攻击	NC	BER	水印提取效果
JPEG 压缩(QF=90)	1.0000	0.0000	
JPEG 压缩(QF=60)	0.6755	0.1797	
泊松噪声	1.0000	0.0000	
中值滤波 (3×3)	1.0000	0.0000	
缩放 2 倍	0.8756	0.0547	
缩放 4 倍	0.8756	0.0547	

3.3 与其他算法对比

JPEG 压缩攻击是最常见的图像有损压缩算法之一。将本文算法与文献[5]中算法在 JPEG 压缩攻击下进行测试对比,对比结果如图 5 所示,显示本文算法有较好的鲁棒性。

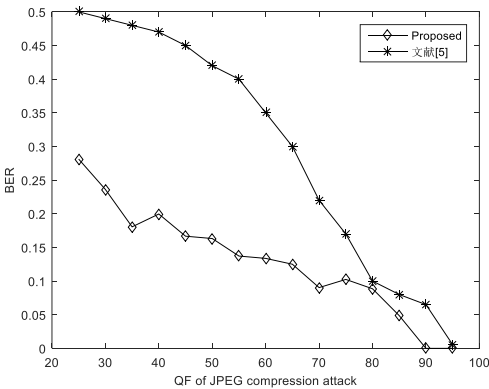


图 5 JPEG 攻击实验结果对比

4 结束语

利用 DCT 域中、低频系数的特点,对其采用 zigzag 扫描的方式提取,同时引入数学范数的性质,将水印信息量化嵌入于图像的 DCT 域中。通过本文算法的实验测试和对 PSNR、BER、NC 值的分析,并与文献[5]中的算法的比较,显示本文算法具备较好的鲁棒性和透明性,能够抵抗 JPEG 图像压缩、中值滤波、泊松噪声、图像缩放等图像攻击。水印采用量化嵌入,提取水印不需原载体图像,可有效应用于数字内容认证或数字版权保护等信息安全领域中。

参考文献:

[1] 马荣飞. 基于 DCT 域的数字水印算法[J]. 计算机应用与软件, 2012, 29(6): 285-286.

[2] 马玲, 张晓辉. 基于内积空间非空子空间变换关系的含水印彩色图像特征分析[J]. 计算机学报, 2016, (39): 1-16.

[3] Chang C C, Lin C C, Tseng C S, *et al.* Reversible hiding in DCT-based compressed images[J]. Information Sciences An International Journal, 2007, 177(13): 2768-2786. .

[4] Chen B, Wornell G W. Quantization index modulation: a class of provably good methods for digital watermarking and information embedding [J]. IEEE Trans on Information Theory, 2001, 47(4): 1423-1443.

[5] Liu J, Ye P. A logarithmic quantization index modulation data hiding using the wavelet transform[C]//Proc of the 3rd International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control. 2013: 1181 - 1184.

[6] Wang Y G, Zhu G. An improved AQIM watermarking method with minimum-distortion angle quantization and amplitude projection strategy[J]. Information Sciences, 2015, 316: 40-53.

[7] Hu H T, Hsu L Y. A mixed modulation scheme for blind image watermarking[J]. AEU - International Journal of Electronics and Communications, 2015, 70(2): 172-178.

[8] Zhou J, Sun W, Dong L, *et al.* Secure Reversible Image Data Hiding Over Encrypted Domain via Key Modulation[J]. IEEE Trans on Circuits & Systems for Video Technology, 2015, 26(3): 441-452.

[9] Liu H, Xiao D, Zhang R, *et al.* Robust and hierarchical watermarking of encrypted images based on Compressive Sensing[J]. Signal Processing Image Communication, 2016, 45(C): 41-51.

[10] Huynh-The T, Banos O, Lee S, *et al.* Improving digital image watermarking by means of optimal channel selection[J]. Expert Systems with Applications, 2016, 62: 177-189.

[11] Wang T, Li H. A novel scrambling digital image watermarking algorithm based on contourlet transform[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2014, 19(4): 315-322.

[12] Wang D, Yang F, Zhang H. Blind Color Image Watermarking Based on DWT and LU Decomposition[J]. Journal of Information Processing Systems, 2016, 12(4).

- [13] Hernandez J R, Amado M, Perez-Gonzalez F. DCT-domain watermarking techniques for still images: detector performance analysis and a new structure. [J]. IEEE Trans on Image Processing A Publication of the IEEE Signal Processing Society, 2000, 9(1): 55 - 68.
- [14] 冀汶莉, 张敏瑞, 靳玉萍, 等. 基于 Zigzag 变换的数字图像置乱算法的研究[J]. 计算机应用与软件, 2009, 26(3): 71-73.