

一种基于 FDCT 的数字图像水印嵌入算法研究

宋丽娟, 马子睿

(宁夏大学 数学计算机学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要: 针对贺兰山岩画文物数字图像的保护和安全性问题, 为防止这些文物数据在网上共享时被非法拷贝或用于其他途径, 在文物图像中批量嵌入相同水印. 文中提出采用 FDCT 滤波矩阵实现离散余弦变换, 将水印的低频和中频信号嵌入到原始图像的中频系数中. 实验结果表明: 该算法速度快并具有良好的鲁棒性.

关键词: 数字水印; 快速离散余弦变换; 批量嵌入

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)04-0118-04

Research on Digital Image Watermark Embedding Algorithm Based on FDCT

SONG Li-juan, MA Zi-rui

(School of Mathematics and Computer Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract: This paper focus on the digital watermark technology and try to protect the copyright and securities of Mount Helan rock painting. In order to prevent the 2D relic data shared in Internet from being illegally copied or used with some other purpose, this algorithm batch embed the same color images as watermark information into the relic images. The algorithm finished discrete cosine transform by using FDCT and embedded low frequency and intermediate frequency of watermark into intermediate frequency of relic image. The result indicates that the algorithm is rapid and robustness.

Key words: digital watermarking; FDCT; batch embedding

1 引言

针对贺兰山岩画数字图像的版权保护和安全性问题^[1], 防止这些数据在网上共享时被非法拷贝或用于其他途径, 使用数字水印技术是一种有效的保护手段.

常用的数字水印嵌入算法有: LSB 空域水印算法^[2]、基于离散余弦变换(DCT)的频域水印算法和基于离散小波变换(DWT)的频域水印算法^[2]. 水印嵌入的过程如图 1 所示.

2 基于 FDCT 域水印嵌入算法

2.1 离散余弦变换

离散余弦变换是信号处理过程中常见的一种频域变换. 与空域图像水印相比, DCT 域的图像水印

具有更强的稳健性, 同时又与常用的图像压缩标准 JPEG 兼容, 是目前研究最多的数字水印技术.

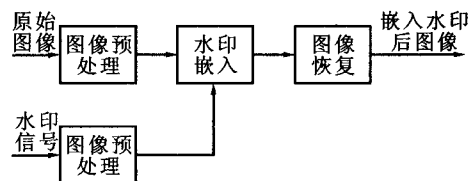


图 1 水印嵌入过程

在数字图像处理中使用的是二维 DCT 变换^[3], 对一幅图像 $I(i, j)$, DCT 定义如下式, M, N 为图像的长和宽:

$$I(u, v) = \left(\frac{2}{M}\right)^{1/2} \left(\frac{2}{N}\right)^{1/2} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} A(u) \cdot A(v) \cdot \cos\left[\frac{\pi \cdot u}{2 \cdot M}(2i+1)\right] \cos\left[\frac{\pi \cdot v}{2 \cdot N}(2j+1)\right] \cdot I(i, j)$$

收稿日期: 2009-03-02; 修回日期: 2009-06-08

基金项目: 国家自然科学基金项目(60602062); 宁夏大学科学研究基金项目(ndzr09-28)

$$\text{其中}, A(\xi) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{if } \xi = 0 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases}$$

图像经过离散余弦变换后,从其频率系数中,很容易得出它的直流分量、低频分量、高频分量的分布.其中 $I(0,0)$ 位置的值最大,它是此图像信号在频率域中的直流分量,包含了原始图像块中的大部分能量(如图2).

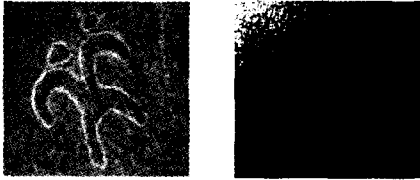


图2 离散余弦变换示意图

从定义式可以看出它实际是一个图像样本的平均值^[3]:

$$I(0,0) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} I(i,j)$$

2.2 快速离散余弦变换

离散余弦变换如果由定义式出发进行计算,其计算量太大,在实际应用中很不方便.所以要寻求一种快速算法.DCT变换实际是对图像进行滤波的过程,而滤波器系数的计算也可以脱离图像本身,如果将滤波器系数计算出来并进行存储,然后进行计算,这样会使得变换速度大大提高.设 A 为原空域中的图像, B 为 A 在频率域中的结果, T 为变换矩阵则有: $B = T * A * T'$, T 为标准正交矩阵.从此式中也可以得到其反变换的等式: $A = T * B * T'$.其中 T 中元素可以按下式进行计算:

$$T_{pq} = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}} & p = 0; 0 \leq q \leq M-1 \\ \sqrt{\frac{2}{M}} \cos \frac{\pi(2q+1)p}{2M} & 1 \leq p \leq M-1; 0 \leq q \leq M-1 \end{cases}$$

其中 M 为滤波矩阵的大小,文中选择 8×8 的块进行滤波.以下为FDCT滤波矩阵:

$$T = \begin{bmatrix} 0.3536 & 0.3536 & 0.3536 & 0.3536 & 0.3536 & 0.3536 & 0.3536 & 0.3536 \\ 0.4904 & 0.4157 & 0.2778 & 0.0975 & -0.0975 & -0.2778 & -0.4157 & -0.4904 \\ 0.4619 & 0.1913 & -0.1913 & -0.4619 & -0.4619 & -0.1913 & 0.1913 & 0.4619 \\ 0.4157 & -0.0975 & -0.4904 & -0.2778 & 0.2778 & 0.4904 & 0.0975 & -0.4157 \\ 0.3536 & -0.3536 & -0.3536 & 0.3536 & 0.3536 & -0.3536 & -0.3536 & 0.3536 \\ 0.2778 & -0.4904 & 0.0975 & 0.4157 & -0.4157 & -0.0975 & 0.4904 & -0.2778 \\ 0.1913 & -0.4619 & 0.4619 & -0.1913 & -0.1913 & 0.4619 & -0.4619 & 0.1913 \\ -0.0975 & -0.2778 & 0.4157 & -0.4904 & 0.4904 & -0.4157 & 0.2778 & -0.0975 \end{bmatrix}$$

2.3 基于FDCT的水印算法

Cox等曾经提出了强壮水印算法的重要原则^[3]:为了使水印强壮,水印信号应该嵌入原始数据中对人的感觉最重要的部分,其在频率域空间中,这种重要部分就是低频分量.因为攻击者在破坏水印的过程中,将会不可避免地引起图像质量的严重下降,所以,一般的图像处理技术也并不去改变这部分数据,这样会使水印的健壮性大大提高.但是此类健壮算法在实现水印信息嵌入低频系数的过程中却破坏了图像本身的质量.而Turner也在其^[4]文章中提到将水印信息添加至图像最不重要位,显然这样的水印算法健壮性不足,但是却能够保证图像质量最低限度的损失.综合考虑这两类算法的优缺点,为保证水印算法的健壮性和在嵌入水印信息后保证图像的质量不会受到大的损坏,文中将水印信息添加至图像的中频系数中.

为了选取低频、中频系数方便,保证低频分量先出现,中频分量次出现,高频分量后出现,以增加行程中连续“0”的个数,文中采用了对FDCT系数进行“Z”字型(Zig-Zag)的排列方法,如图3为FDCT系数Zig-Zag排列方式示意^[5].

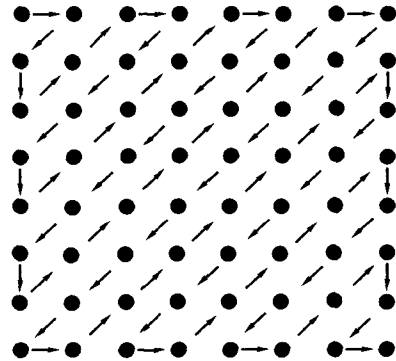


图3 FDCT系数的Zig-Zag排列

为了选取中频系数,可以提取Zig-Zag中第9位到第32位的系数,这种方法不具有自适应性,文中采取一种自适应的方法:为了去掉高频分量,进行量化操作,这里的量化操作,就是将某一个值除以量化表JND中对应的值.由于量化表左上角的值较小,右下角的值较大,如果在量化后的Zig-Zag中出现连续的三个0,就可以断定高频系数出现.这样量化后的DCT系数其低频、中频、高频的分界就比较明显.以下为依据心理视觉阈值制作的色度量化表:

16	11	10	16	24	40	51	61
12	12	14	19	26	58	60	55
14	13	16	24	40	57	69	56
14	17	22	29	51	87	80	62
18	22	37	56	68	109	103	77
24	35	55	64	81	104	113	92
49	64	78	87	103	121	120	101
72	92	95	98	112	100	103	99

文中提出的基于 FDCT 的水印嵌入算法:

(1) 将原始图像和水印信息图像进行颜色模型转换,从 RGB 到 YUV;然后将经过颜色模型转换后的图像分成 8×8 的块.

(2) 对每一个 8×8 图像块用滤波矩阵进行滤波实现 FDCT 变换.

(3) 提取原始图像的中频系数,即将原始图像的频率域系数经过量化后自适应选取中频系数作为嵌入水印信息的载体位.同时选取水印信息图像频率域系数的低频和中频部分,并将其转换为二进制码流,作为嵌入的对象.

(4) 将水印信息嵌入到原始图像信息中.

(5) 最后对嵌入水印信息的原始图像进行反离散余弦变换(IDCT),再将其从 YUV 颜色模型空间转换到 RGB 颜色空间,最终得到了嵌入水印后的图像.图 4 为此嵌入算法的过程图.

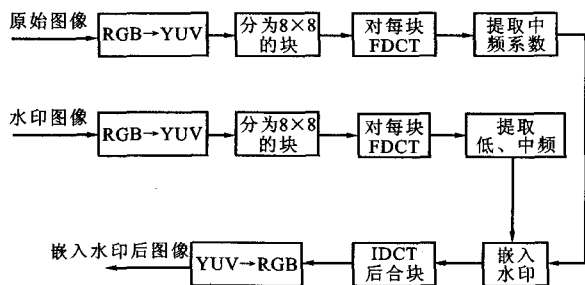


图4 基于 FDCT 的水印嵌入过程

2.4 文物图像批量嵌入水印过程

在将水印的低频和中频信号嵌入到原始图像的中频系数过程中,文中利用了改变相邻中频系数之间的关系来达到嵌入信息的目的.

$$B(W_i) = \begin{cases} 0, & I(u_1, v_1) < I(u_2, v_2) \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

具体嵌入水印信息的过程如下:先判断水印信息二进制码,如果其值为 1,而且待嵌入水印系数比其下一个系数的值小,则交换这两个系数的值;如果其值为 0,而待嵌入水印系数比其下一个系数的值大,则交换这两个系数.换句话说就是要保证嵌入 1 时,此系数大于下一个系数值,嵌入 0 时相反.

下面针对多幅文物图像嵌入相同的水印信息给出批量嵌入的流程图(如图 5 所示).其中 W 为水印信息, $wlen$ 为水印信息长度, I 为当前待嵌入水印图像信息, $swap$ 函数为交换两个数, i 控制嵌入的水印信息长度.

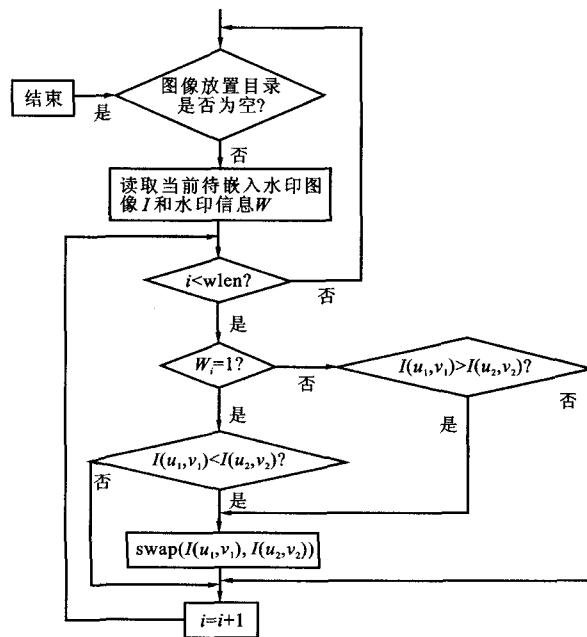


图5 批量嵌入水印流程图

3 实验结果分析

DCT 作为时频域变换的一种工具,运用其快速变换能够很容易且高效地将图像的空域信号转换到频率域中来.在频率域中嵌入水印信息的最大优点是可以分离出原始图像的低频、中频、高频信号,然后根据人类视觉模型来选择嵌入水印的位置.图 6 为使用 FDCT 算法进行的水印嵌入和提取过程.

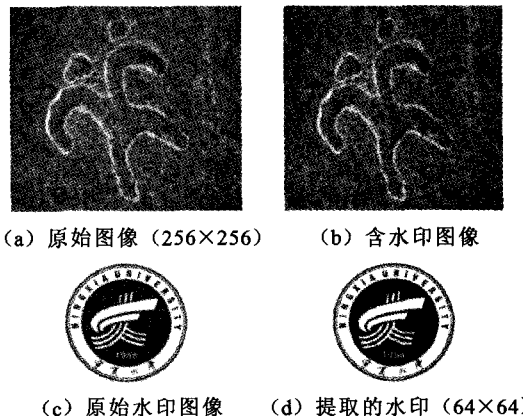


图6 基于 FDCT 方法嵌入提取水印

文中采用的 FDCT 快速算法对一幅彩色 256×256 图像变化速度为 48 毫秒,而一般 DCT 算法的

速度为3138毫秒,整整慢了65倍多。

表1为抵抗JPEG有损压缩攻击的鲁棒性测试结果,其中PSNR代表已遭受攻击图像的峰值信噪比,CR代表压缩率^[6]。

表1 抵抗JPEG有损压缩攻击的鲁棒性测试

质量系数	CR	PSNR
80	6.1	37.0
70	7.9	35.9
60	9.7	35.1
50	11.2	34.4
40	13.1	33.8
30	15.9	33.0
20	20.6	31.9

4 结束语

文中主要研究DCT频率域数字水印算法,针对文物图像的数量可达成千上万幅,所以采用FDCT变换实现批量水印嵌入。对数字图像进行离散余弦变换,可以充分利用图像的自相关性减少数据量,达到压缩数字图像的目的;同时离散余弦变换后能量集中,算法复杂度适中,较易于在数字信号处理器中快速实现。

(上接第117页)

7、11、17、24、32、14、34(单元14、34与单元1没有连接关系),在图2中这些单元被有意的拆开,放到离单元1较远的位置,但在图8的优化结果里,除了与单元1没有连接关系的单元14、34被放置在较远的位置,其它单元又重新聚集到单元1周围。

基于模拟退火算法,该门阵列最终连线长度为447,比初始布局(图2)优化57.9%,比“标杆电路”的布局(图1)也有11.5%的优化。说明该算法是相当有效的。

4 结束语

根据模拟退火算法原理进行MATLAB编程,调试程序,详细讨论模拟退火算法中各个参数对布局结果的影响,给出优化过程和最终布局结果。实验表明,只要参数设置合理,模拟退火算法能够得到全局最优解,且算法非常稳定。文中所给出的例子是规模很小的理想化的布局形式,但是许多结论对今后进一步布图算法的研究有一定的参考作用。

参考文献:

[1] 南国芳,李敏强,寇纪淞. 基于适应性模拟退火的标准单

参考文献:

- [1] 王颖,肖俊,王蕴红. 数字水印原理与技术[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [2] Wang Zhenfei, Zhai Guangqun, Wang Nengchao. Digital watermarking algorithm based on wavelet transform and neural network[J]. Wuhan University Journal of Natural Sciences, 2006(6):1668-1669.
- [3] Cox I, Kilian J, Leighton F T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997,6(12):1673-1687.
- [4] Cyril Bazin, Jean-Marie Le Bars, Jacques Madelaine. A blind, fast and robust method for geographical data watermarking[C]//Proceedings of the 2nd ACM symposium on Information, computer and communications security. Singapore, 2007:265-272.
- [5] 丁玮,闫伟齐,齐东旭. 基于离散余弦变换的数字水印图像[J]. 北方工业大学学报, 1999,11(3):71-75.
- [6] 陈纯. 计算机图像处理技术与算法[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

作者简介:

宋丽娟 女,(1978-),硕士,讲师. 研究方向为数字图像处理与多媒体技术。

元布局算法[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(3):550-553.

- [2] 徐宁,杨程. 混合模拟退火算法解决VLSI布局问题[J]. 微电子学与计算机, 2006,23(10):51-53.
- [3] Manikas, Mickle M H. A genetic algorithm for mixed macro and standard call placement[J]. Circuits and Systems, 2002(2):4-7.
- [4] Aykanat C, Bultan T, Haritaoglu O. A fast neural-network algorithm for VLSI cell placement[J]. Neural Networks, 1998(11):1671-1684.
- [5] Hentschke R F, Reis R A. Improving simulated annealing placement by applying random and greedy mixed perturbations[C]// Proceedings of the 16th symposium on Integrated circuits and systems design. Washington: IEEE Computer Society, 2003:267-272.
- [6] Lihong Zhang, Kleine U. A genetic approach to analog module placement with simulated annealing[J]. Circuits and Systems, 2002(1):345-348.

作者简介:

杨依忠 男,(1975-),讲师. 研究方向为集成电路布图设计。

解光军 男,(1970-),教授。