

基于菱形编码和修改量化表的 DCT 域图像隐写

金 涛, 何加铭, 杨任尔*

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为了提高离散余弦变换(DCT)域隐写的嵌入容量, 提出一种基于菱形编码和修改量化表的 DCT 域图像隐写. 首先将载体图像进行 8×8 的 DCT 变换后, 对变换得到的 DCT 系数采用修改的 8×8 量化表进行量化, 从而提高了嵌入容量和载密图像的视觉质量. 同时通过改进的菱形编码将 8 进制的秘密信息嵌入到载体图像量化 DCT 系数的中频部分, 从而进一步提高了嵌入容量. 实验结果表明: 该隐写算法不但与 JPEG 压缩标准兼容, 而且有效地提高了嵌入容量.

关键词: 隐写; 离散余弦变换; 菱形编码; 量化

中图分类号: TP391.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2014) 01-0033-04

隐写术(Steganography)是利用信息隐藏技术实现隐蔽通信的技术, 是信息隐藏技术的一个重要分支^[1]. 目前根据嵌入信息的方式, 隐写术可以归类为两种——基于变换域的隐写方法和基于空间域的隐写方法. 一般意义上, 空间域方法算法简便, 信息隐藏量大, 信息嵌入和提取速度快, 但是其对多数攻击的鲁棒性不高, 而且容易被检测到, 安全性不高^[2]. 而变换域方法则具有较好的鲁棒性和抗攻击性, 但是其最大不足是嵌入容量比较小. 目前不少学者已提出了多种变换域方法, 比如 DFT(离散傅里叶变换)域算法、DCT(离散余弦变换)域算法、DWT(离散小波变换)域算法等, 其中, DCT 域算法由于与压缩标准 JPEG 兼容, 因此是应用最广的变换域算法. 但如何提高 DCT 变换域隐藏算法的隐藏容量, 使其能应用于更多的领域是众多学者关注的研究方向^[3].

JSteg 方法是最早在 JPEG 图像中进行隐写的方法之一^[4]. 其算法选择在量化后不为 0 和 1 的 DCT 系数的 LSB 位上嵌入秘密信息, 但是其由于采用标准的量化表, 导致量化后的大部分 DCT 系数变为 0, 因此嵌入容量很小. 因此, Chang 等人^[5]提出了一种基于改进的 8×8 量化表的 JPEG 隐写方

法, 有效地提高了嵌入容量; 之后, Almohammad 等人^[6]在 Chang 的基础上提出了一种扩展的 16×16 量化表的隐写方法, 进一步提高了嵌入容量; 最近, Vongurai 等人^[7]又提出了一种扩展的 32×32 量化表的隐写方法, 在 Almohammad 的基础上又提高了嵌入容量.

但是 Almohammad 和 Vongurai 等人提出的扩展量化表的方法由于与 JPEG 标准不符, 从而使得载密图像无法正确识别和展示, 违背了隐写的目标和原则. 因此, 笔者提出一种基于菱形编码和修改量化表的 DCT 域图像隐写算法, 采用改进的 8×8 量化表, 同时采用改进的菱形编码进行嵌入, 即符合了 JPEG 标准, 同时又有效地提高了嵌入容量, 具有更好的隐写性能.

1 算法基本原理

1.1 量化表的改进

JPEG 压缩编码器采用一张标准的 8×8 量化表对 DCT 系数进行量化(图 1). 采用该标准的量化表具有很好的图片压缩效果, 同时也具有较好的视觉效果. 但是经过该量化表量化后的 DCT 系数大部分变为了 0, 而如果这时在 0 系数中嵌入秘密信

收稿日期: 2013-07-20.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journallg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省移动网络应用技术重点实验室项目 (2010E10005); 浙江省新一代移动互联网用户端软件科技创新团队项目 (2010R50009); 浙江省重点科技创新团队项目 (2012R10009-11, 2012R10009-20); 浙江省重大科技专项重点工业项目 (2011C11042).

第一作者: 金 涛 (1989—), 男, 浙江杭州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 图像隐写. E-mail: kingtao01@163.com

*通信作者: 杨任尔 (1968—), 男, 浙江宁波人, 副教授, 主要研究方向: 图像处理、视频压缩编码与传输. E-mail: yangrener@nbu.edu.cn

息必然会导致 DCT 系数的改变量增大,从而使重构后的载体图像质量大幅度下降.因此,DCT 域隐写都选择在非零系数上嵌入秘密信息的,而采用标准量化表只能取得较小的嵌入容量.

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

图1 标准量化表

由于在 DCT 系数中,高频分量很容易被 JPEG 压缩过滤掉,而且人眼对 DCT 系数的低频分量变化比较敏感^[8],因此笔者采用 Chang 提出的量化表,并选择在 DCT 系数的中频部分嵌入秘密信息,且将量化表相应位置的元素改为 1(图 2).采用该改进的量化表既能避免图像重构后视觉质量的大幅下降,同时又增加了可嵌入位置,从而提高了嵌入容量.

16	11	10	16	1	1	1	1
12	12	14	1	1	1	1	55
14	13	1	1	1	1	69	56
14	1	1	1	1	87	80	62
1	1	1	1	68	109	103	77
1	1	1	64	81	104	113	92
1	1	78	87	103	121	120	101
1	92	95	98	112	100	103	99

图2 修改后的量化表

1.2 改进的菱形编码

2009 年,Chao 等^[9]提出了菱形编码(Diamond Encoding, DE),该方法的主要思想是将 1 个 L 进制的秘密信息嵌入到 1 个像素对中,其中 $L = 2k^2 + 2k + 1$ ($k \geq 1$),嵌入后像素对改变最多不超过 k ,嵌入率为 $(1/2)\log_2(2k^2 + 2k + 1)bpp$.对于 1 个像素对 (x, y) ,嵌入 1 位 L 进制的秘密信息 s_L ,首先需按(1)式计算像素对 (x, y) 的菱形特征值(DCV):

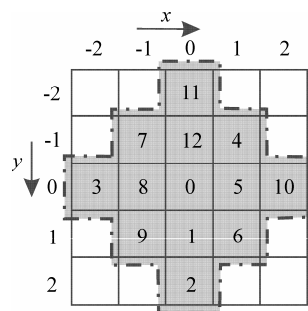
$$f(x, y) = ((2k + 1)x + y) \bmod L. \quad (1)$$

接着按照(2)式计算 $f(x, y)$ 和 s_L 的模距离,通过匹配邻域距离模板 D_k 以确定嵌入之后的像素对

(a, b) .

$$d = (s_L - f(x, y)) \bmod L. \quad (2)$$

其中,DE 模板 D_k 由参数 k 决定,例如, $k = 2$ 时,DE 模板 D_2 如图 3 所示.

图3 邻域距离模板 ($L=13$)

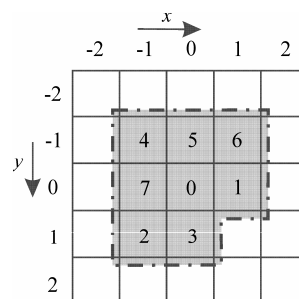
在提取秘密信息时,只要简单计算载密图像像素对 (a, b) 的提取函数值 $f(a, b)$ 即可得到秘密信息 s_L .

虽然 DE 算法大大提高了嵌入率,但是其最大的不足之处在于秘密信息的进制是不能任意选取的.因此,文献[10]提出了一种改进的菱形编码算法 APPM,该算法不仅可以任意地选取秘密信息的进制,而且引入的失真也比 DE 算法小.

APPM 算法改变了 DE 算法的邻域距离模板,从而可以嵌入任意进制的秘密信息.主要变化之处在于 $f(x, y)$:

$$f(x, y) = (x + c_L \times y) \bmod L, \quad (3)$$

其中,参数 c_L 取决于嵌入的秘密信息进制,之后的处理过程与 DE 算法一致.文中算法采用 8 进制的秘密信息进行嵌入,其 8 进制的邻域距离模板如图 4 所示.

图4 邻域距离模板 ($L=8$)

2 嵌入与提取过程

文中算法采用修改量化表和改进菱形编码结合的方式嵌入秘密信息,其算法的整体流程如图 5

所示.

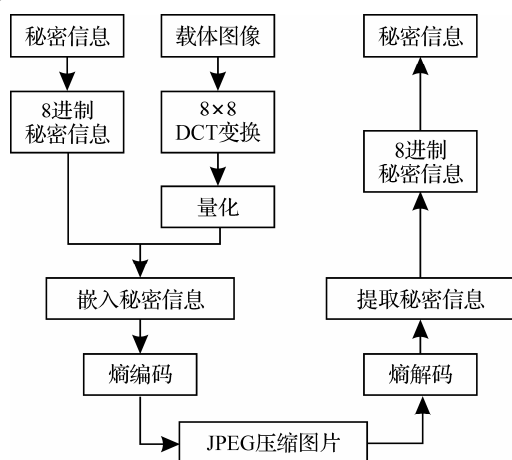


图5 算法流程

2.1 嵌入过程

(1) 读入载体图像和秘密信息,并将秘密信息转化为8进制.

(2) 将载体图像划分成不重叠的 8×8 子块,并对于每个子块进行 8×8 的 DCT 变换,然后采用笔者提出的修改量化表(图2)对 DCT 系数进行量化.

(3) 对处于中频部分的 DCT 量化系数采用改进的菱形编码嵌入秘密信息.

(4) 采用 JPEG 熵编码器对嵌入秘密信息后的 DCT 量化系数进行编码,最终得到 JPEG 压缩图像.

2.2 提取过程

(1) 读入载密的 JPEG 图像.

(2) 对 JPEG 图像进行熵解码,得到量化的 DCT 系数,采用(3)式对 DCT 系数的中频部分提取 8 进制秘密信息.

(3) 将提取出的 8 进制秘密信息转换为二进制,然后转化为秘密信息文本.

3 实验结果与分析

对提出的隐写算法进行仿真实验,实验所用图像为 512×512 的标准灰度图像,分别从嵌入容量和视觉效果两方面来评价笔者所提出的隐写算法的性能.

3.1 嵌入容量

嵌入容量是评价隐写算法的一个重要标准.对于 Chang 提出的方法,在每个 8×8 图像块中,有 26 的量化 DCT 系数可以嵌入,因此对于 1 张 512×512 的灰度图像,有 $512 \times 512 / (8 \times 8) = 4096$ 个图像块,

因此 Chang 方法容量为 $4096 \times 26 = 106\,496$ bits. 对于 Almohammad 方法,在每个 16×16 图像块,可以有 121 个量化 DCT 系数可以嵌入,因此,其方法的容量是 $512 \times 512 / (16 \times 16) \times 121 = 123\,904$ bits. 而对于 Vongurai 提出的方法,每个 32×32 图像块,可以有 500 个量化 DCT 系数可以嵌入,因此 Vongurai 方法的容量为 $512 \times 512 / (32 \times 32) \times 500 = 128\,000$ bits. 而笔者提出的修改量化表和改进菱形编码相结合的图像隐写算法容量为 $512 \times 512 / (8 \times 8) \times 26 \times 3/2 = 159\,744$ bits. 表1则为4种算法的容量结果,可以看到,笔者提出的算法与其它3种算法相比具有更高的嵌入容量,比最近提出的 Vongurai 方法提高了 31 744 bits.

表1 嵌入容量比较 bits

算法	嵌入容量	提升
Chang	106496	-
Almohammad	123904	17408
Vongurai	128000	4096
本文算法	159744	31744

3.2 视觉质量

PSNR 是衡量图片视觉质量的常用指标,表2列出了4种算法嵌入秘密信息后的 PSNR 值.

表2 视觉质量比较 dB

算法	Lena	Peppers	Jet	Boat
Chang	39.29	38.23	38.94	38.57
Almohammad	40.78	39.08	40.30	39.99
Vongurai	40.26	38.73	40.02	39.38
本文算法	39.27	38.20	38.92	38.54

从实验结果可以看到,本文算法采用 Chang 提出的量化表,得到的 PSNR 值与 Chang 的方法相差无几,而比 Almohammad 和 Vongurai 提出的方法的 PSNR 值要小一些,但是人眼并没有感觉到图片质量的下降,仍然具有较好的不可感知性,而且 JPEG 压缩标准是采用 8×8 分块的,Almohammad 和 Vongurai 提出的方法与标准的 JPEG 压缩标准并不兼容,因此本算法具有更好的实用价值.

4 结语

提出了一种基于菱形编码和修改量化表的 DCT 域图像隐写算法,通过修改量化表增加了可嵌入位置,从而提高了嵌入容量,同时也使压缩得

到的 JPEG 图像具有较好的图像视觉质量;之后采用改进的菱形编码嵌入秘密信息,在减少像素值变化的同时进一步提高了嵌入容量,相比于其它算法,笔者所提出的算法嵌入容量明显提高,具有一定的实用价值。

参考文献:

- [1] 刘粉林, 刘九芬, 罗向阳, 等. 数字图像隐写分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2010:49-60.
- [2] 谢建全, 阳春华, 黄大足, 等. 一种大容量的DCT域信息隐藏算法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(8):1543-1546.
- [3] 谢建全, 谢京力, 黄大足, 等. 一种抗 JPEG 压缩的大容量信息隐藏算法[J]. 南京理工大学学报, 2011, 35(2): 258-261.
- [4] Fridrich J, Goljan M, Hoge D, et al. Quantitative steganalysis: Estimating secret message length[J]. ACM Multimedia Systems Journal, 2003, 9(3):288-302.
- [5] Chang C C, Chen T S, Chung L Z. A steganographic method based upon JPEG and quantization table modification[J]. Information Sciences, 2002, 141:123-138.
- [6] Almohammad A. High capacity steganographic method based upon JPEG[C]. Third International Conference on Availability, Reliability and Security. Washington: IEEE Computer Society Press, 2008:544-549.
- [7] Vongurai N, Phimoltare S. Frequency-based steganography using 32×32 interpolated quantization table and discrete cosine transform[C]. Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIMSIM), 2012 Fourth International Conference on IEEE, 2012:249-253.
- [8] Singh S, Siddiqui T J, Singh R, et al. DCT-domain robust data hiding using chaotic sequence[C]. Multimedia Signal Processing and Communication Technologies (IMPACT), 2011 International Conference on. IEEE, 2011:300-303.
- [9] Chao R M. A novel image data hiding scheme with diamond encoding[J]. EURASIP Journal on Information Security, 2009, 24:658047-658052.
- [10] Hong W, Chen T S. A novel data embedding method using adaptive pixel pair matching[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2012, 7(1):176-184.

Image Steganography Based on Diamond Encoding and Quantization Table Modification in DCT Domain

JIN Tao, HE Jia-ming, YANG Ren-er*

(Faculty of Information Science and Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: In order to improve embedding capacity of steganography in discrete cosine transform (DCT) Domain, a new image steganography is proposed based on the diamond encoding and quantization table modification. Firstly, the carrier image is transformed by 8×8 block DCT, then the DCT coefficients are quantized using the modified 8×8 quantification table, which increases the embedding capacity and steno-image visual quality. The 8-ary secret image data are embedded in the middle-band of frequency of the carrier image's DCT coefficients using the modified diamond encoding, then the embedding capacity can thus be further improved. The experimental results show that the proposed method not only maintains good imperceptibility of image after embedding large amount of secret message, but also effectively improves the embedding capacity as well.

Key words: steganography; DCT; diamond encoding; quantification

(责任编辑 章践立)