

基于变换域的 Patchwork 水印改进算法

甘霖, 杨榆

(北京邮电大学信息安全中心, 北京 100876)

摘要: Patchwork 水印算法是一种经典的水印算法, 具有鲁棒性强、易于实现等优点。然而该算法的缺陷也比较明显, 即算法直接在空域进行水印的嵌入容易引起图像视觉上的变化。针对经典 Patchwork 算法在空域嵌入导致算法透明性较差这一缺陷, 提出一种在变换域嵌入水印的 Patchwork 水印改进算法, 以期提高 Patchwork 算法的透明性。提出的算法使用 DCT 变换将水印的嵌入空间由空域改为变换域, 并且结合人类视觉系统的特点进一步抵消水印嵌入带来的视觉影响。实验结果表明, 提出的 Patchwork 水印改进算法在大幅度提高算法透明性的同时, 并不降低算法的鲁棒性。

关键词: Patchwork; DCT 变换; 人类视觉系统; 透明性

中图分类号: TP309.2

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcui.2017.06.010

0 引言

数字水印用于图像的版权管理或版权标示。当前, 对图像水印算法的研究较多, 各种图像水印都有自己的特点。图像水印算法按作用域可分空间域算法和变换域算法^[1-2]。空间域算法具有易于实现、计算速度快、嵌入效率高的优点。变换域算法则是用各种图像变换方法如离散傅里叶变换 (DFT)、离散余弦变换 (DCT)、离散小波变换 (DWT) 先变换图像, 然后在图像的变换域中嵌入水印, 最后利用逆变换将图像还原。提取水印时也需要在变换域中提取^[3-6]。变换域算法往往还和 Arnold 变换、奇异值分解 (SVD) 等结合^[7-10], 使算法的性能进一步提升。

Patchwork 算法是 Bender 等于 1996 年提出的一种针对空间域图像水印的著名算法。“Patchwork”的本意指拼布, 它形象地说明了算法的思想, 即通过不同块的拼接嵌入信息。经典 Patchwork 算法将信息嵌入于图像空间域之中, 虽然易于实现, 但是却容易引起图像视觉上的变化, 导致算法透明性下降。针对这一情况提出一种变换域中的 Patchwork 水印算法。该算法应用了 DCT 变换及人类视觉系统的特点, 通过将水印信息叠加到载体图像 DCT 变换后的 R、G、B 3 个通道的直流分量及 R、G、B 3 个通道互相抵消叠加的影响, 使算法的透明性得到较大提升。

1 研究基础

1.1 经典 Patchwork 水印算法

经典的 Patchwork 水印算法是基于修改图片统计特征为基础的一种水印嵌入算法。早期的 Patchwork 算法应用于图像的空间域部分, 通过对比选定的 N 对像素点 (a_i, b_i) 分别组成的点集合 A 和点集合 B 的亮度差来嵌入水印信息。以嵌入 1 bit 信息为例, Patchwork 算法首先选取 A 、 B 两个点集, 然后将其中一个点集的亮度增加 d , 另一个点集的亮度减少 d , 在保证图片整体平均亮度不变的情况下将信息嵌入。这种方法能够嵌入的信息很少, 只能判断载体是否存在水印。为提高 Patchwork 算法的算法容量, 又有人提出可嵌入长度为 n 的信息的 Patchwork 算法。算法原理如下: 先根据需求选取 A 、 B 两个点集, 每个点集的点的数量为 n 个。然后将 A 点集亮度增加嵌入信息的 k 倍, B 点集亮度减少嵌入信息的 k 倍。

1.2 离散余弦变换

由于在图像的空间域中直接应用 Patchwork 算法容易引起人眼的察觉, 因此考虑在水印算法中引入图像的变换域用于嵌入水印, 以此增强水印的透明性。

离散余弦变换 (discrete cosine transform, DCT 变换), 是常用于信号处理和图像处理的一种时域到频域的变换方法。图像经过 DCT 变换得到的 DCT 系数矩阵中, 不同位置的 DCT 系数大小反映了图像不同频率成分的强弱。DCT 系数矩阵 $(1, 1)$ 位置的元素是图

像的直流分量,其他位置的元素表示不同频率的交流分量。水平方向从左到右,频率逐渐升高;垂直方向从上到下,频率逐渐升高。大多数的自然信号(声音和图像)的主要能量都集中在 DCT 系数矩阵的低频部分,将水印嵌入此部分可以获得更强的稳健性。

1.3 人类视觉系统特性

人类的视觉系统对不同颜色的敏感程度不同。由亮度方程 $y=0.299R+0.587G+0.144B^{[11-12]}$ 可知,人眼对绿色光最为敏感,对红色光的敏感程度次之,对于蓝色光最不敏感。人眼对红色光和蓝色光的敏感程度之和与对绿色光的敏感程度较为接近。

可以用红色光和蓝色光部分作为 Patchwork 算法的 A 集合,绿色光作为 B 集合,两个集合在嵌入信息时使用相逆的操作,可以在一定程度上互相抵消嵌入信息引起的图像视觉上的变化,提高水印透明性。

2 改进的 Patchwork 水印算法

2.1 水印的嵌入

载体图像 I 与水印图像选 W 取正方形的 RGB 图像,并满足载体图像的边长为 8 的倍数且载体图像边长为水印图像边长的 8 倍。将载体图像 I 的 3 个颜色通道分离,得到 IR、IG、IB 3 个颜色分量;将水印图像 W 的 3 个颜色通道分离,得到 WR、WG、WB 3 个颜色分量。由于 3 个颜色分量嵌入流程相似,因此以红色分量为例重点说明。

(1) 使用 Arnold 变换置乱水印

将水印图像 W 的红色分量 WR 进行 Arnold 变换。变换的过程可以看作是拉伸、压缩、折叠及拼接的过程,经过 Arnold 变换之后得到置乱的水印图像红色分量 WRA。Arnold 变换是一种常用的图像置乱技术,图像经过 Arnold 之后像素点的位置会发生变化,公式为

$$\begin{pmatrix} xn+1 \\ yn+1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} xn \\ yn \end{pmatrix} \bmod N$$

(2) 对载体图像进行分块 DCT 变换并提取直流分量

载体图像的红色分量 IR 以 8×8 的大小为一个单位划分为若干子块。将子块视为一个整体,最左上角的子块位置坐标为 (1,1),与其相邻的右边的子块位置坐标为 (1,2),依此类推。对每一个子块分别应用 DCT 变换,然后取出变换后的每一个子块左上角的直流分量组成一个新矩阵,位置坐标为 (1,1) 的子块的直流分量作为新矩阵 (1,1) 位置的元素,位置坐标为

(1,2) 的子块的直流分量作为新矩阵 (1,2) 位置的元素,依此类推。最终所得的矩阵称为直流分量矩阵 **IRD**。

(3) 在直流分量矩阵中嵌入水印

在直流分量矩阵 **IRD** 上嵌入水印,嵌入方法是 **IRD** 增加置乱的水印图像红色分量 WRA 的 k 倍的亮度。嵌入式为

$$IRDE = IRD + k \times WRA$$

(4) 对载体图像进行分块反 DCT 变换

嵌入水印后的直流分量矩阵 **IRDE** 按照对应位置替换各个子块的直流分量,再对各个子块分别应用反 DCT 变换完成红色分量的水印嵌入。

以上便是红色分量的一次完整的水印嵌入流程。蓝色分量的嵌入流程与红色分量的嵌入流程相同。绿色分量的嵌入流程与红色分量的嵌入流程基本相同,唯一的区别在于嵌入流程 (3) 中绿色分量的嵌入式使用的是减法运算。

3 个颜色分量总的嵌入式为

$$\begin{cases} IRDE = IRD + k \times WRA \\ IGDE = IGD - k \times WGA \\ IBDE = IBD + k \times WBA \end{cases}$$

其中绿色分量在亮度处理时使用减操作,红色分量和蓝色分量使用加操作。由人类视觉系统的特性知这两个互逆的操作可以在一定程度上互相抵消嵌入信息引起的图像视觉上的变化,提高水印透明性。最后将嵌入水印图像的载体图像的 3 个颜色分量进行 3 色叠加即可生成包含了数字水印的载体图像 P。

2.2 水印的提取

将含有数字水印的载体图像 P 的 3 个颜色通道分离,得到 PR、PG、PB 3 个颜色分量;将原始载体图像 I 的 3 个颜色通道分离,得到 IR、IG、IB 3 个颜色分量。由于 3 个颜色分量提取流程相似,因此以红色分量为例重点说明。

(1) 对含有水印的图像进行分块 DCT 变换并提取直流分量

含有数字水印的载体图像的红色分量 PR 以 8×8 为一个单位划分为若干子块。同嵌入时一样给予子块分配位置坐标,最左上角的子块位置坐标为 (1,1),与其相邻的右边的子块位置坐标为 (1,2),依此类推。对每一个子块单独应用 DCT 变换后,取出每一个子块的直流分量,按照坐标关系组合成直流分量矩阵 **PRD**。对原始载体图像的红色分量 IR 使用与 PR 相同的操作,得到直流分量矩阵 **IRD**。

(2) 从直流分量矩阵中提取置乱的水印

将 PRD 减去 IRD 之后除以系数 k 便可以得到置乱的水印图像的红色分量 WRA ,提取式为

$$WRA = (PRD - IRD) / k$$

(3) 对置乱的水印进行 Arnold 逆变换再对 WRA 进行 Arnold 变换的逆变换,得到水印图像的红色分量 WR 。

以上便是红色分量的一次完整的水印提取流程。蓝色分量的提取流程与红色分量的提取流程相同。绿色分量的提取流程与红色分量的提取流程基本相同,唯一的区别在于提取流程(2)中绿色分量的提取式减数与被减数互换位置。3个颜色分量总的提取式为

$$\begin{cases} WRA = (PRD - IRD) / k \\ WGA = (IGD - PGD) / k \\ WBA = (PBD - IBD) / k \end{cases}$$

上述3个颜色分量的提取操作将水印的3个颜色分量 WR 、 WG 、 WB 提取出,将这3个分量进行3色合并即可得到水印图像 W 。

3 仿真实验

实验使用 512×512 大小的 lena 彩色图像作为载体图像,使用 64×64 的彩色北京邮电大学校徽作为水印图像。 k 值选取0.1时(不同的图像最佳 k 值的选取有所不同,通常不超过0.2),嵌入水印的载体图像的峰值信噪比 PSNR 为39.9713 db,水印算法的透明性良好,嵌入效果如图1所示。



(c) 嵌入水印后的载体图像
图1 载体图像嵌入水印

水印图像如图2所示。可以看到提取的水印图像效果较好。



图2 无攻击情况下提取的水印图像

放大攻击:先将图片放大2倍再恢复原始大小,受到攻击的含水印载体图像如图3(a)所示。提取的水印图像 NC 值为0.9478,提取的水印图像如图3(b)所示。



(a) 攻击后的含水印载体图像 (b) 提取的水印图像
图3 放大攻击结果

缩小攻击:先将图片缩小2倍再恢复原始大小,受到攻击的含水印载体图像如图4(a)所示。提取的水印图像 NC 值为0.8743,提取的水印图像如图4(b)所示。



(a) 攻击后的含水印载体图像 (b) 提取的水印图像
图4 缩小攻击结果

高斯噪声攻击:所加高斯噪声均值为0,方差为0.001,受到攻击的含水印载体图像如图5(a)所示。提取的水印图像 NC 值为0.5954,提取的水印图像如图5(b)所示。

jpeg 压缩攻击:jpeg 压缩系数为90%,受到攻击的含水印载体图像如图6(a)所示。提取的水印图像 NC 值为0.8150,提取的水印图像如图6(b)所示。

无攻击的情况:提取的水印图像 NC 值为0.9598,

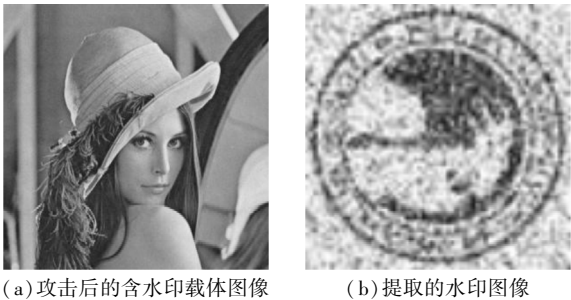


图 5 高斯噪声攻击结果



图 6 jpeg 压缩攻击结果

剪切攻击:裁剪掉图片中心的25 %的面积,受到攻击的含水印载体图像如图 7(a)所示。提取的水印图像 NC 值为0.7419,提取的水印图像如图 7(b)所示。



图 7 剪切攻击结果

总实验结果如表 1 所示。由表 1 可以看出文中算法对大多数攻击具有较好的鲁棒性。

表 1 各类攻击后提取的水印的峰值信噪比

攻击类型	无攻击	放大攻击	缩小攻击	高斯噪声攻击	jpeg 压缩攻击	剪切攻击
水印相似度 NC	0.9598	0.9478	0.8743	0.5954	0.8150	0.7419

4 结束语

针对经典 Patchwork 算法在空域嵌入导致算法透明性较差这一缺陷,结合 DCT 变换和人类视觉系统的特点,提出了一种基于变换域的 Patchwork 水印改进算法。利用 DCT 变换将水印的嵌入空间由空域改为变换域及 R、G、B 3 个通道互相抵消影响,增强了算法的透明性。实验结果表明,算法具有良好的透明性与鲁棒性,尤其在缩放攻击,jpeg 压缩攻击和剪切攻击中水印的主要特征得到较好地保留。对于高斯噪声攻击虽然还能辨认出水印,但是水印的质量已经受到较严重干扰。如何提高水印对噪声攻击的鲁棒性仍需进一步研究。

参考文献:

[1] 尹浩,林闯,邱锋,等. 数字水印技术综述[J]. 计算机研究与发展,2005,42(7):1093-1099.

[2] 吴海涛,詹永照. 数字水印技术综述[J]. 软件导刊,2015,14(8):45-49.

[3] 苏娜. 基于 DCT 域的数字图像水印算法的研究与应用[D]. 成都:电子科技大学,2016.

[4] 杨剑,朱莉. 基于分块的 DCT 域和 DWT 域的双

水印算法改进[J]. 电子设计工程,2016,24(18):145-148.

[5] 张元钦. 基于 DWT_DCT 的图像数字水印技术的研究[D]. 北京:北京邮电大学,2013.

[6] 王珂,黄玉萍. 基于 DCT 变换域的数字水印算法研究[J]. 软件导刊,2016,15(5):55-57.

[7] 李树全,房冬丽. 一种基于 Arnold 变换的彩色图像水印算法[J]. 微电子学与计算机,2017,34(1):53-57.

[8] 马宁,于洪志. 基于 Arnold 变换和 DCT 变换的图像水印算法[J]. 广西师范大学学报(自然科学版),2011,29(3):163-167.

[9] 李延哲,梁仁鹏,张紫砚,等. 基于 DCT-DWT-SVD 的彩色图像安全存储方案[J]. 物联网技术,2017(5):59-65.

[10] 王奔. 基于 DWT_DCT_SVD 的图像数字水印算法[D]. 北京:北京邮电大学,2010.

[11] 叶闯,沈益青,李豪,等. 基于人类视觉特性(HVS)的离散小波变换(DWT)数字水印算法[J]. 浙江大学学报(理学版),2013,40(2):152-155.

[12] 肖璐璐. 一种新的改进 Patchwork 算法的彩色数字水印研究[J]. 科技广场,2014(8):26-29.

An Improved Patchwork Watermarking Algorithm based on Image

GAN Lin, YANG Yu

(Information Security Center Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Patchwork watermarking algorithm is a classic watermarking algorithm which is robust and easy to implement. However, the defect of the algorithm is obvious, that is, the algorithm directly embeds watermark in the space domain, which leads to visual changes of the image. In view of the weakness of the poor transparency of the classical Patchwork algorithm, this paper proposes an improved Patchwork watermarking algorithm based on image to improve the transparency of Patchwork algorithm, which uses DCT transform to change the embedding space of the watermark from space domain to transform domain and combines the characteristics of human visual system to further counteract the visual influence caused by watermark embedding. Experimental results show that the proposed Patchwork watermarking algorithm does not reduce the robustness of the algorithm greatly while improving the transparency of the algorithm.

Keywords: Patchwork; DCT; Human visual system; transparency