

一种基于 DCT 系数均值的盲水印算法

A Blind Watermark Algorithm Based on DCT Mean

潘陆益 (浙江商业职业技术学院 浙江 杭州 310053)

摘要: 提出了一种在分块 DCT 低频区域上,以相邻 DCT 系数的平均值为基准,根据水印图像信息的二值性选择不同的偏移量来嵌入水印的算法。在水印提取时不需要原图像,是一种盲水印算法。并通过 Arnold 置乱来保证水印的安全性。实验结果表明,水印不可见性好,而且对于常见的噪声、裁剪、JPEG 压缩具有较好的鲁棒性。

关键词: 盲数字水印 离散余弦变换 Arnold 变换 图像置乱

1 引言

数字电子技术的飞速发展以及互联网的普及,给数字多媒体作品的获取、复制、传播带来了极大的方便,但同时,也使侵犯版权、篡改信息变得容易,数字信息的安全保护问题日益突出。如何有效地防止数字产品的非法复制,准确地鉴别数字媒体的知识产权,成为亟需解决的问题。数字水印技术是一种能将版权信息嵌入到数字多媒体作品中的新兴的信息隐藏技术,自 1993 年 Tirkel 等人提出了“water mark”以来^[1],数字水印在数字图像、视频和音频等领域得到了迅速的发展,作为版权保护的重要手段而得到了广泛的研究和应用。

数字水印的算法多种多样,大致可以分为空域法和频域法两种^[2]。空域水印算法是将水印信号直接嵌入在原始数据中。频域水印算法首先将原始数据进行频域变换,在频域上嵌入水印信息,然后经反变换输出。频域法因其抗攻击、抗压缩、鲁棒性强,能将水印信号能量分布到所有像素上等特点,而被人们广泛采用。常用的变换域有离散傅立叶变换(DFT)、离散余弦变换(DCT)以及离散小波变换(DWT)等,其中,在 DCT 域嵌入的水印,对 JPEG 和 MPEG 压缩有较强的健壮性,因而被普遍应用。

本文结合图像置乱技术,提出了一种在图像分块 DCT 变换的低频区域上,基于系数均值偏移嵌入水印的算法。通过调整偏移量的强度,使水印的鲁棒性和

不可见达到较好的平衡,并且在水印检测时不需要原图,是一种盲水印算法。该水印算法原理框图如图 1 所示。

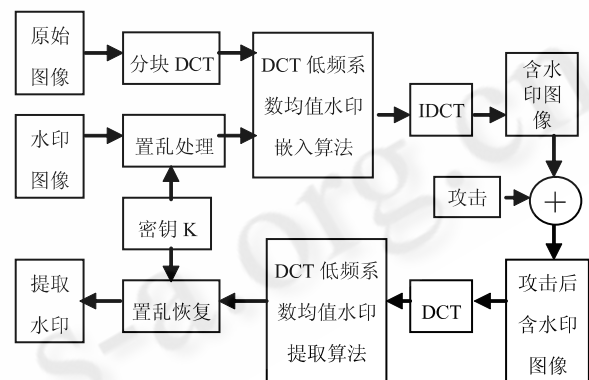


图 1 水印嵌入与提取过程

2 基于 Arnold 变换的图像置乱

所谓图像置乱是指将一幅图像的像素空间位置重新进行排列,将原始图像变换成杂乱无章的新图像,如果不知道所使用的置乱变换方法和密钥,是很难恢复出原始图像的。本文采用 Arnold 变换对图像进行置乱。Arnold 变换(Cat mapping)俗称“猫脸变换”,是 V. T. Arnold 在遍历理论的研究中提出的一类裁剪变换^[3]。将 Arnold 变换应用到数字图像上,可以通过像素坐标的改变而改变图像像素点的布局。基于位置的图像置乱的 Arnold 变换可写为:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \bmod N, \quad x, y \in \{0, 1, \dots, N-1\}$$

N 为图像矩阵的阶数 x, y 为图像原像素点的坐标 x', y' 为对应像素点变换后的坐标。

Arnold 变换具有周期性。在利用 Arnold 变换对数字图像进行置乱变换时,起初会使图像变得杂乱无章,但继续反复使用 Arnold 变换,就能恢复出原图,得到一幅与原图像一模一样的图像。Arnold 变换的周期与图像大小有关,根据上述变换公式,我们通过 MATLAB 编程^[4]可以求得不同阶数图像的变换周期。表 1 为不同阶数图像一个 Arnold 变换周期的变换次数。

表 1 不同阶数图像的变换次数

图像阶数 N	8	16	32	64	100	128	256	512
变换次数 S	6	12	24	48	150	96	192	384

用 S 表示数字图像的 Arnold 变换周期,在对图像进行了 t 次变换后,只需要继续对图像进行 $(S - t \bmod S)$ 次 Arnold 变换,即可得到与原图像一模一样的图像。对于一幅 128×128 的图像,其置乱周期为 96,也就是说经过 96 次变换后能恢复原图像。若图像已经经过了 50 次的置乱变换,则再进行 46 次变换即可恢复出原图。如果已进行了 200 次置乱,则还需要进行 $96 - (200 \bmod 96) = 88$ 次变换才能恢复原图。我们将图像置乱和恢复置乱的次数作为密钥 K 。

3 DCT 低频系数均值水印算法

DCT 频域水印算法是常用的一种水印算法,其基本思想是利用扩频通信的原理来提高数字水印的鲁棒性^[5],它将水印信息嵌入到载体图像的 DCT 频域上,然后经反变换输出。在 DCT 系数中,高频部分代表图像中的噪声部分,这些部分容易通过有损压缩或者滤波等处理被去掉。而中低频部分包含了图像的大部分能量,虽然人类视觉系统(HVS)对低频分量比较敏感,但低频部分的 DCT 系数幅值大,水印嵌入到低频部分不易被擦除,有较强的稳健性,因此考虑到水印的鲁棒性,将水印嵌入到 DCT 的低频部分,并通过调整嵌入强度,使水印的鲁棒性和不可见性达到较好的平衡。

通常在图像传输过程中,亮度和对比度会有较大变化,而像素之间的相对值变化较小,因此,这里我们以相邻 DCT 系数的平均值为基准,嵌入适当强度的水印。先将原始图像进行 8×8 大小的分块,每个分块在 DCT 变换后嵌入已置乱的水印图像的 1bit 信息。水印嵌入位置如图 2 所示,图中有阴影的单元为嵌入水印的单元。图中每 3 个低频系数为一组,以每一组 3 个系数的平均值为基准,根据待嵌入的水印图像对应 1bit 信息的二值性选择不同的嵌入系数(偏移量),调节 DCT 系数的平均值,然后嵌入到每一组中间单元中,这样,在每个 8×8 图像块的 4 个单元中嵌入了水印图像的同位信息。

			B14	B15	B16		
		B23	B24	B25			
	B32	B33	B34				
B41	B42	B43					

图 2 嵌入水印的位置

3.1 水印嵌入

设 X 是 $M \times M$ 大小的原始载体图像, W 是大小为 $N \times N$ 的已置乱的二值水印图像,并且使 $M = 8 * N$ 。实现水印嵌入的具体步骤如下:

(1) 将原始水印图像经 Arnold 变换成置乱图像。在进行变换时生成密钥 K 。

(2) 将 X 分解为 $(M/8) \times (M/8)$ 个 8×8 像素大小的方块 $BX(p, q)$, $1 \leq p, q \leq M/8$ 。

(3) 对每一个 $BX(p, q)$ 进行 DCT 变换: $BX'(p, q) = \text{DCT}(BX(p, q))$ 。

(4) 在每一个 $BX'(p, q)$ 块中,按图 2 位置嵌入水印,每 3 个低频系数为一组,通过改变每一组中间单元对本组均值的偏移量来嵌入一位水印,这样,在每个 8×8 图像块的 4 个单元中嵌入了水印图像的同位信息。

设 W_i 为代表要嵌入的水印图像的第 i 位信息, $B(m, 5-m)$, $B(m, 6-m)$, $B(m, 7-m)$ 代表嵌入 W_i 的相邻的 3 个 DCT 系数,具体的嵌入算法为:

$$B(m,6-m) = \begin{cases} (B(m,5-m)+B(m,6-m)+B(m,7-m))/3+d & \text{当 } W_i = 1 \\ (B(m,5-m)+B(m,6-m)+B(m,7-m))/3-d & \text{当 } W_i = 0 \end{cases}$$

其中 $m=1,2,3,4$, d 为均值偏移量(嵌入系数)。

(5)对以上修改得到的每一个 $BX'(p,q)$ 进行逆 DCT 变换 $BX''(p,q) = IDCT(BX'(p,q))$ 。并将各块 $BX''(p,q)$ 合并为一个整图 X' ,即为加载了水印的新图像。

3.2 水印提取

设图像 X' 为已经加载了水印的图像。现要将所加载的水印从 X' 中提取出来。其过程为上述加载水印算法的逆运算：

(1)将 X' 分为 $(M/8) \times (M/8)$ 个 8×8 大小的方块 $BX(p,q)$, $1 \leq p,q \leq M/8$ 。

(2)对每一个 $BX(p,q)$ 块 ,进行二维 DCT 变换： $BX'(p,q) = DCT(BX(p,q))$ 。

(3)对每一个 $BX'(p,q)$,计算嵌入水印的 4 个单元的平均值(或总和)以及 4 个组总平均值(或总和) ,即：

$$a = \sum_{m=1}^4 B(m,6-m)$$

$$b = \sum_{m=1}^4 (B(m,5-m) + B(m,6-m) + B(m,7-m))/3$$

(4)按照下面规则进行水印提取：

$$W_i = \begin{cases} 1 & a \geq b \\ 0 & a < b \end{cases}$$

(5)将上面得到的所有 W_i 合并成一个整图 W 。即为置乱的水印图像。

(6)根据密钥 K ,将提取的置乱水印图像恢复成原始水印图像。

4 实验结果与分析

本文选择 256×256 大小的 Lena 灰度图像作为载体图像来嵌入水印 ,水印图像是大小为 32×32 的二值图像。引用含水印图像和原载体图像的峰值信噪比 (PSNR)来定量地描述水印的不易察觉性 ,PSNR 越大 ,不易察觉性越高。利用归一化相关系数 (NC)反映提取出的水印与原始水印信息之间的相关性 ,从而也能客观定量地描述算法的鲁棒性 ,NC 越大 ,鲁棒性越强。下面给出在嵌入强度 $d=30$ 时 ,含水印图像在无攻击时提取的水印 ,如图 3 所示。

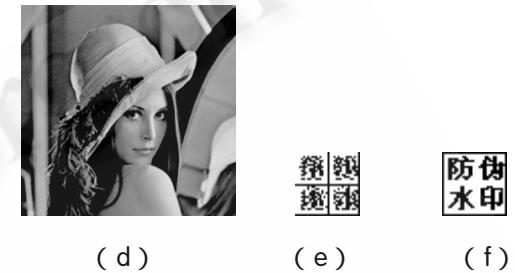


图 3 水印嵌入与提取

由于含水印图像在实际应用中可能会遭到各种各样的攻击 ,因此 ,对算法进行攻击测试是衡量一个水印算法优劣的重要手段。下面是含水印图像受攻击后水印提取的实验结果：

(1)噪声攻击。向图像中分别添加方差为 0.001 的高斯白噪声和噪声强度为 0.01 的椒盐噪声后 ,仍能提取出水印 ,并有较高的 NC 值 ,抗噪声攻击性能较好。如图 4 所示。



(a)添加高斯噪声后提取水印(NC = 0.9732)
(b)添加椒盐噪声后提取水印(NC = 0.9463)

图 4 噪声攻击实验结果

(2)抗裁剪攻击。在图像上分别裁剪掉 1/2 和 3/4 后 ,提取出的水印图像与原水印图像相比 ,NC 仍能达到 1。如图 5 所示。



(a) 剪掉左边 1/2 后提取水印



(b) 剪掉对角 1/2 后提取水印



(c) 剪掉 3/4 后提取水印

图 5 抗裁剪攻击实验结果

(3) 抗 JPEG 压缩。对嵌入水印后的图像进行 JPEG 压缩, 当压缩质量因子为 50 时, 从压缩的图像中提取出的水印依然清晰可见, 其归一化互相关系数 NC 为 0.9094, 如图 6 所示。图 7 为不同 JPEG 压缩因子时, 提取的水印与原始水印的相似程度 (NC)。从图中可以看到本算法抵抗 JPEG 压缩攻击的效果是比较好的。



压缩质量因子=50 NC=0.9094

图 6 JPEG 压缩后图像与提取的水印

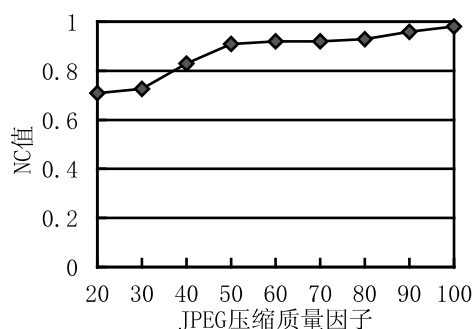


图 7 不同 JPEG 压缩因子下 NC 值变化

5 结论

从上述实验可明显看出, 嵌入水印信息后, 原图与嵌入水印信息后的图像在视觉效果上没有明显区别, 用肉眼几乎分辨不出, 这说明本算法充分利用了人眼的视觉 HVS 特性, 水印的不可见性相当好, 不影响图像的正常使用。本算法以相邻 DCT 系数的平均值为基准, 嵌入适当强度的水印, 并且在每个 DCT 块的 4 个系数中嵌入了水印图像的同位信息, 使嵌入的水印信息有一定的冗余度。因此, 本算法具有较强的抗噪声、抗 JPEG 压缩攻击性能, 尤其对裁剪有很强的稳健性, 在含水印图像只有 1/4 时, 仍能提取出较清晰的水印信息, 可见, 本算法的鲁棒性较好, 而且提取水印不需要原始图像, 算法简单, 易于实现。

参考文献

- 1 钟桦, 张小华, 焦李成. 数字水印与图像认证——算法及应用. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2006.
- 2 王炳锡, 陈琦, 邓峰森. 数字水印技术. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- 3 张俊萍, 谭月辉等. Arnold 变换的置乱恢复研究. 机械工程学院学报, 2006, 18(4): 52-55.
- 4 王家文, 曹宇. MATLAB6.5 图形图像处理. 北京: 国防工业出版社, 2004.
- 5 胡睿, 徐正光. 一种基于分块 DCT 变换和水印置乱的嵌入算法. 微计算机信息, 2005, 21(7): 29-31.