

一种新的多窗口差分矩阵图像 水印加载技术研究

卜耀华, 石玉芳

(内蒙古商贸职业学院 计算机系, 呼和浩特 010070)

摘 要: 研究了数字图像中水印信息添加的问题。针对以往基于空间域水印图像加载保密性差、容易受到噪声干扰等缺陷,提出了一种利用随机产生的差分矩阵进行水印加载与提取的算法。首先利用随机数构造一个随机矩阵;然后将原始图像与构造的随机矩阵进行差分运算,通过线性叠加函数,将待添加的水印信息添加到差分矩阵图像中,从而实现了水印加载。该方法由于利用了随机差分矩阵,因此有很好的安全特性,并能很好地实现显式或者隐式水印信息的加载。实验结果显示,该方法能在不影响原始图像的观感条件下实现水印的有效添加,并且所添加的水印图像能有效地防止噪声的干扰,实现准确的水印加载和提取。

关键词: 数字水印;多窗口;差分矩阵;空间域;信噪比

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)04-1438-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.04.066

Novel watermarking method in spatial domain using differential matrix

BU Yao-hua, SHI Yu-fang

(Dept. of Computer Science, Inner Mongolia Business & Trade Vocational College, Hohhot 010070, China)

Abstract: This paper proposed a new algorithm to embed watermark into a digital image in spatial domain. Normally, the watermarking in spatial domain suffered from noises, it presented a differential matrix, which generated using several random keys, to construct the result watermarked image. The first step of proposed method was to generate 4 random keys which used to subtract from different regions of original image. Then it added the watermark image into differential matrix using a linear function. The random keys ensured the security of the system and linear combination of differential image and watermark image made the extraction easier than previous methods. Experiments show the proposed method is effectively prevent the noise interferes with, achieving accurate loading and extracting the watermark.

Key words: digital watermarking; multiple windows; difference matrix; spatial domain; signal to noise ratio

0 引言

随着互联网的迅猛发展,数字信息的传播成为当今信息交流的一个极为重要的途径,并影响到人们的日常生活。由于文件、图像、音乐以及视频等信息的数字化,人们能迅速地制作和传播这些信息。而由此引发的版权问题,也成为数字时代一个重要的研究课题^[1]。

在数字图像或者视频中加载水印信息被认为是进行版权保护、图像认证以及所有权认证的有效手段。水印加载技术通过无缝地将某些特定的图像信息嵌入到被加载图像或者视频当中,并且以人眼无法观测的视觉效果达到加载额外的版权信息,同时不影响原始图像或者视频观感的目的。

通常的水印加载技术可以划分成两大类:空间域水印加载技术和频率域水印加载技术。现阶段频率域水印加载技术得到了较多的关注和应用,其主要方式是利用离散余弦变换(DCT)、离散小波变换(DWT)等方法^[2],将原始图像和待嵌入的水印图像变换到某个频率域内,然后在频率域内的某些波段

对变换系数进行叠加操作,再将合成的图像从频率域内反变换回空间域,从而实现水印图像的加载。从这一过程可以看到,在频率域内进行水印加载包含了大量的运算,包括从空间域到频率域的正反变换,以及频率域内进行图像合成时的大量可逆逻辑运算。因此,计算复杂度过高是基于频率域的水印加载方法的一个主要缺陷^[3]。

相对来说,在空间域进行水印加载的算法较频率域方法有较低的计算复杂度,但该类方法的主要缺陷在于信噪比较低,容易受到数据传输过程中的图像预处理算法或者图像压缩算法的干扰,造成水印图像提取的困难^[4]。

本文将针对以上两类水印加载算法各自的优缺点,设计一种具有较高信噪比的空间域水印加载算法,使得水印加载算法在保持较好鲁棒性的同时,能有很好的运算效率。

1 水印加载的频率域方法

在频率域中对一幅图像嵌入水印信息是水印加载算法的常见类型。这类方法首先利用离散余弦变换、离散小波变换、

收稿日期: 2011-08-20; 修回日期: 2011-10-18

作者简介: 卜耀华(1964-),男,广西防城港人,副教授,主要研究方向为数据库技术、多媒体技术等(imvcc@sohu.com);石玉芳(1965-),女,内蒙古包头人,讲师,硕士,主要研究方向为数据库技术、流媒体技术。

离散 Hartley 变换^[5-7]等方法,将原始图像和水印图像分别从空间域变换到频率域中;然后在频率域中不同的频段上(主要集中在中频段),对两幅图像进行叠加操作。以 DCT 为例,该操作可简单地用式(1)描述为

$$V_i' = V_i^* (1 + \alpha \times (X_i + \beta \cdot W_i)) \quad (1)$$

其中: V_i' 表示 DCT 后水印图像与原始图像叠加后的结果; X_i 表示原始图像经过 DCT 后的频率域结果; W_i 为水印图像在频率域的表示; α 和 β 则控制着最终水印加载后水印在原始图像中显现的强度。例如,如果 β 较小,则水印在结果图像中不易被观测到,而较大的 β 则可能使得水印在结果图像中被显现出来。在水印提取过程中, α 和 β 必须预先获知,才能通过式(1)线性求解出原始图像和所加载的水印图像,否则无法对图像进行分解和重构。

为了增加所加载水印信息的安全性,将经过变换后的频率域图像切分成若干小块,对各个不同的小块采用不同的 α 和 β 值,而这一组 α 和 β 值则构成一个密钥,成为加载水印信息的安全保障信息。例如,假设选取 $\alpha = 0.97$ 和 $\beta = 0.27$ 时,图像能获得一个正常水平的水印加载图像;而选取 $\beta = 0.17$ 时,水印信息在合成图像中将变得更为隐蔽不易被发觉;当进一步减小 β 值时,水印图像则可能完全消失在合成图像中。

图1显示了一个频率域水印加载的流程。

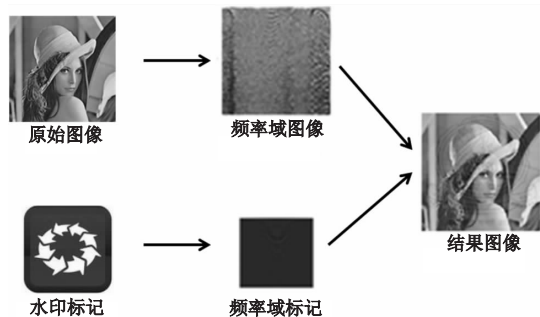


图1 频率域水印加载流程

2 水印图像空间域加载方法

通常的空间域水印图像加载方法由于受到性能稳定性的制约,会导致其易受到噪声的干扰^[8]。

一般常用的空间域水印加载流程是随机地选择图像中的某些像素,或者某些区域,然后在该像素上或者区域内对其灰度值进行修正。修正的参考依据则为需要嵌入的水印标记图像。图2显示了在空间域进行水印加载操作的流程。

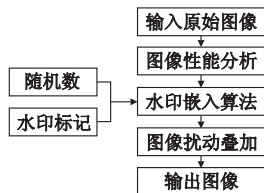


图2 空间域水印加载算法流程

首先要对输入的图像进行性能分析,找出那些适合进行水印加载的区域,也就是信息较为丰富、容易将水印信息隐藏其中且不易被察觉的区域;然后利用预先设计好的水印嵌入算法,将一个水印标记图像,利用一个或者一组随机数序列,对待嵌入的区域进行扰动和叠加操作,对这些区域的像素进行灰度修正,从而达到嵌入水印的目的。

本文设计了一个水印加载的新流程,其关键点集中在以下

三个方面:

a) 选择一个合适的水印标记。这是由于最终加载水印标记后的结果图像要能较好地将水印信息融合其中,必须依赖于原始图像和水印标记的相关性。

b) 一个合适的密钥。经过选择合适的密钥能有效地提高所加载水印信息的安全性,并能保证在数据的传输处理过程中受到较少的外界干扰,即使在所传输的信息过程中包含了密钥的信息,也只有接收者才能有效地破解水印信息。

c) 对原始图像所嵌入水印区域的选择。这关系到最终水印标记嵌入的效果。

通常在空间域中水印加载算法可以用式(2)表示为

$$\hat{y}(i, j) = y(i, j) + \alpha \cdot I(i, j) \quad (2)$$

其中: $y(i, j)$ 为原始图像中像素 (i, j) 的灰度或者强度; $\hat{y}(i, j)$ 为相应像素经过水印加载以后的灰度; $\alpha \cdot I(i, j)$ 表示该像素点所叠加的水印信息。

在水印加载过程中,加载者将获得两个密钥:一个是所加载水印在原始图像中的位置,也即哪些像素或者区域经过了水印加载处理;另一个是密钥 $\alpha \cdot I(i, j)$,即经过修正后的像素灰度值。

当获得以上信息以后,接收者得到加载水印后的图像,可以通过加载水印图像和原始图像的对比操作来提取水印信息。

$$I(i, j) = \frac{\hat{y}(i, j) - y(i, j)}{\alpha} \quad (3)$$

为了避免在传输过程中直接传输原始图像,本文采用一个差分矩阵来描述原始图像。其方法描述如下:随机产生四个随机数,使得这四个数分布在 $0 \sim 63, 64 \sim 127, 128 \sim 191$ 和 $192 \sim 255$ 之间。可以用这四个数构成一个与原始图像大小一致的图像,并且四个数各自占据的区域为原始图像的 $1/4$,如图3所示。

LL	LH
HL	HH

图3 差分矩阵

图3中LL、LH、HL和HH分别代表得到的四个随机数。将原始图像与随机数矩阵作差分运算,则可以将得到的差分图像和随机数传递给水印图像接收者进行重构。

3 基于差分矩阵的水印加载方法

为了改进以往基于空间域水印图像加载算法的可靠性,首先使用第2章提出的差分矩阵分别对原始图像和水印标记图像进行差分运算,从而获得两幅经过随机数加密的差分图像。然后,对于两幅图像中共八个小区域,利用式(2)对两幅图像进行融合操作,对于每个不同区域的融合,采用不同的 α 值。这是为了保证每个区域的融合能够根据各自图像的特点进行。

在进行融合之前,先计算差分图像中各个小区内的方差 σ ,而 α 的取值则依据方差 σ 的线性关系构成。其原则是方差较大的区域,代表图像纹理等信息较为丰富,容易隐藏水印图像,则取较大的 α 值;如果 σ 较小,则表明该区域纹理较为平滑,本文则选取较小的 α 来弱化水印标记在嵌入图像中的效果。

为了灵活地调节水印图像在结果图像中的显现效果,可以

用类似频率域内的水印加载方法,采用式(4)对第一次嵌入水印的结果图再次进行调整:

$$\hat{y}(i,j)=\beta(y(i,j)+\alpha\cdot I(i,j)) \quad (4)$$

在本文中,如果希望被加载的水印标记能在结果图像中较好地显现出来,则采用 $\alpha=0.12$ 和 $\beta=0.97$,这一参数设置能较好地保证水印信息的强度和柔和性。

如果希望水印图像完全隐蔽在被加载的目标图像之中,又能保证能较为稳定地不受其他图像处理或者图像压缩算法的干扰,则可以取值 $\alpha=0.005$ 和 $\beta=0.97$ 。

4 实验设置和结果

图像加载水印的应用领域主要集中在版权授权和安全传输。其中版权授权的水印图像一般希望能够显式地在结果图像中显现出所加载的版权标志信息,而针对安全传输的水印信息则希望不易被观测但是易被提取,因此相对于显式嵌入的水印信息难度更大。本文将针对后一种情况进行实验设置和测试。首先,利用本文提出的多窗口差分矩阵方法对图像进行水印嵌入,然后对结果图像添加随机噪声。对于传统的空间域水印提取算法,也即直接将合成图像与原始图像进行相减操作的水印提取方法,当系统含有较多噪声,或者图像经过有损压缩以后的,都因为部分信息丢失或者变化,无法提取出完整的、与原始水印信息保持一致的水印图像。

为了对比本文方法与传统方法以及频率域水印加载算法的区别,采用了若干幅标准图像进行操作,如图4所示。

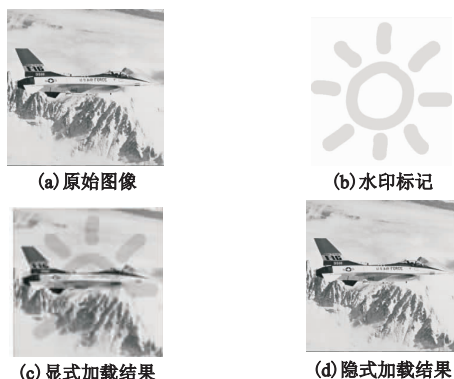


图4 水印加载结果显示

从图4中可以看到,采用本文方法,选用不同的 α 和 β 值,能有效地实现水印图像的隐式嵌入或者显式嵌入。

为了验证水印图像嵌入后再被提取的效果,本文将两幅标准图像进行嵌入操作,其中一幅图像模拟水印图像,另外一幅图像则模拟待添加水印的图像。图5显示了两幅图像使用本文方法进行叠加后,以及提取分离后的结果。

从图5可以看出,将两幅图像使用本文方法进行嵌入叠加以后,能通过线性方程准确地将两者分离,有效地提取出水印信息和原始图像。

为了比较算法对于噪声的抗干扰性,使用本文方法对五幅标准原始图像进行水印加载后,随机地添加一组噪声,然后在噪声图像上提取出水印信息,并比较所提取的水印信息和原始水印信息的信噪比及均值差。本文所采用的信噪比计算公式为

$$\text{PSNR}(O,\bar{O})=10\log_{10}\frac{255\times 255}{\sum_{i=0}^M\sum_{j=0}^N\|o_{ij}-\bar{o}_{ij}\|^2} \quad (5)$$

MN

均值差计算公式为

$$\text{MAE}(W,\bar{W})=\frac{\sum_{i=0}^S\|w_i-\bar{w}_i\|}{|W|} \quad (6)$$



图5 水印叠加与提取

表1显示了本文方法所获得的重构水印图像与其他方法所获得的水印图像信噪比的对比结果。

表1 水印加载实验结果

方法	PSNR	MAE
本文方法	31.59	0.031
频率域 DCT 法	27.45	0.035
空间域法	20.83	0.047

从表1中可看出,本文方法所得到的水印加载图像在噪声干扰情况下比 DCT 频率域水印加载方法和空间域方法所恢复的水印图像具有较高的信噪比和较低的均值差,从而表明本文算法具有较好的抗干扰特性。

5 结束语

针对以往基于空间域水印加载算法抗干扰性较差、安全性不可靠等缺陷,设计了一种采用随机数构成的差分矩阵,并利用与频率域类似的线性方程进行水印加载与提取的方法。该方法在空间域中完成水印加载操作,具有较高的计算效率,有效地提高了空间域内水印图像的抗干扰性和提取图像的准确性。

参考文献:

- [1] 任馨,李瑞.关于多重水印的应用研究[J]. 计算机应用,2007,27(6):271-272.
- [2] REDDY A A, CHATTERJI B N. A new wavelet based logo-watermarking scheme[J]. Pattern Recognition Letters,2005,26(7):1019-1027.
- [3] 何冰,王晔.基于 Radon 变换不变矩的鲁棒性数字水印技术[J]. 计算机工程与应用,2010,46(9):98-101.
- [4] CHANG E C, ORCHARD M. Geometric properties of watermarking schemes[C]//Proc of International Conference on Image Processing. 2000:714-717.
- [5] CAO Jiang-hua, LI An-bo, LV Guo-nian. Study on multiple watermarking scheme for GIS vector data[C]//Proc of the 18th International Conference on Geoinformatics. 2010:1-6.
- [6] 马希俊,钟伟,余松煜.基于小波变换的图像水印算法[J]. 上海交通大学学报,2000,34(7):910-912.
- [7] 张力,韦岗.一种基于图像内容的小波域鲁棒水印技术[J]. 中国图象图形学报,2002,7(9):975-979.
- [8] STEINEBACH M, HAUER E, WOLF P. Efficient watermarking strategies[C]//Proc of the 3rd International Conference on Automated Production of Cross Media Content for Multi-channel Distribution. Washington DC: IEEE Computer Society,2007:65-71.