

一种基于直方图的可逆数字水印算法

李妍, 张佑生, 张挺

(合肥工业大学 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009)

摘要:文中提出一种可逆数字图像水印算法的改进方案,防止了原有算法中可能出现的像素值溢出情况。改进后的算法利用图像的灰度直方图,在图像进行分块的基础上进行像素灰度值的修改,实现在图像的空间域中嵌入较为充沛的水印信息。其中标志点的设定,可以有效防止灰度值在修改过程中出现上溢和下溢的情况,而密钥的使用不仅加强了水印信息的安全性,同时简化原有算法,减少了繁琐的记录信息。实验结果表明,算法在嵌入大量水印信息的情况下仍能取得满意的PSNR值。

关键词:数字水印;可逆水印;直方图修改

中图分类号:TP309

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2006)10-0122-03

A Histogram-Based Algorithm for Reversible Digital Watermarking

LI Yan, ZHANG You-sheng, ZHANG Ting

(School of Computer and Information, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Presents an improving method of reversible watermarking algorithm, and the method prevents over-flows in the original algorithm. Using the histogram of an image and its blocks, can embed a large amount of data by modifying the values of pixels. A flag point is set to prevent over-flows. The key is used to reinforce the security of watermarking and predigest the original algorithm, reduce some record data. Some experiment results are given, showing that the algorithm presented is feasible and can get satisfactory PSNR.

Key words: digital watermarking; reversible watermarking; histogram modification

0 引言

在大多数的数字水印应用中,原始载体信息在嵌入水印信息的同时也产生一定的变化,并且这种变化通常是不可逆的,即不能通过逆向操作精确恢复原始载体信息。而许多实际应用,如医疗诊断、军事应用和法律诉讼等,要求在提取隐藏的水印信息之后,能精确地恢复原始载体信息。可逆水印技术或无损数据隐藏技术就是适应这种要求而提出的。

可逆数字水印的思想最早是由 Honsinger 等人在1999年的一项美国专利^[1,2]中提出的,这项专利利用可逆的嵌入方法在图像中嵌入数据,使得提取算法在提取出嵌入的数据的同时,能够精确恢复原始图像。近年来,可逆数字水印技术已经得到了越来越多的关注。灰度直方图是图像最基本的统计特征,广泛应用于各种图像处理和分析技术中。灰度直方图是灰度级的函数,它反应了图像中每种灰度级出现的频率。因此可利用图像灰度直方图的特征,在图像中找到可以利用的空缺灰度级^[3-6]来嵌入二维水印信息。

文中利用图像的灰度直方图,提出一种改进的可逆水印算法。该算法应用图像分块,减小了直方图,增加了水印信息嵌入量,而通过适当设置标志点既可决定像素值的移动方向,也可避免像素值上溢和下溢情况的发生。

1 可逆数字水印

给定一幅大小为 $M \times N$ 的原始图像 x , 经过下式的变换得到相对应的映射信号 x_Q :

$$x_Q = C_Q x \quad (1)$$

其中 C_Q 为压缩函数。通过式(1)的处理,可以在相应的映射信号中找到可供水印信息嵌入的空间。为了实现系统可逆性,必须要有相应的扩展函数 E_Q , 使 $E_Q x_Q = x$ 。实际中,由于可能存在误差 q , 完全满足 $E_Q x_Q = x$ 要求的 C_Q 和 E_Q 有时无法找到,这时需作特殊处理。 q 也称作压缩扩展错误,可表示为:

$$q = x - E_Q x_Q \quad (2)$$

通过寻找一个合适的压缩函数 C_Q 可以实现 q 值最小化,并且可以将其与水印信息一起嵌入图像中,以用于原始图像的精确恢复。

一个基本的压缩过程如图1所示。图中,(a)为给定的原始图像的直方图,(b)为一个压缩函数 C_Q , 经过如式(1)的操作,变换后的直方图反映出,在图像中可以利用灰

收稿日期:2006-01-17

作者简介:李妍(1981-),女,安徽寿县人,硕士研究生,研究方向为计算机图形学、数字水印;张佑生,教授,博士生导师,研究方向为计算机图形学、计算机辅助设计、人工智能应用。

度值为 5 来作为嵌入水印信息的空间,如(c)所示。在实际应用中,数字图像中可能存在某些灰度级没有像素分布的情况,即其对应的直方图中可能出现空缺。也可通过选择一个合适的压缩函数,对数字图像进行处理,使得在图像中某一灰度级没有像素分布,在对应的直方图中表现为出现空缺,那么在图像中这些灰度级就是可供水印嵌入的空间。

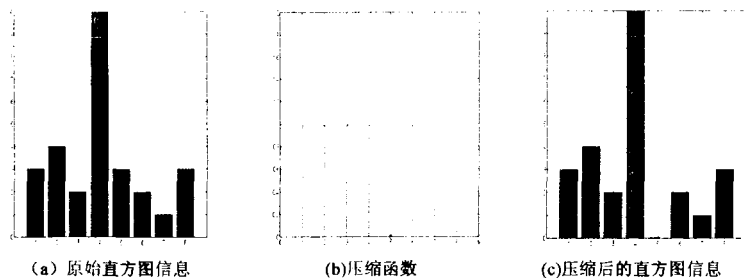


图 1 压缩函数应用示例

接收方得到水印后,可对含有水印信息的图像进行检测,提取出水印信息和压缩扩展错误信息,在确认图像的完整性和真实性后,再对图像进行恢复。该过程分为两步:先进行式(1)的逆向操作,得:

$$x_E = E_Q x_Q \quad (3)$$

然后,如果检测到压缩扩展错误信息 q ,则用下式来实现原始图像的精确恢复:

$$x = x_E + q \quad (4)$$

Ni Zhicheng 等人的算法^[2]是:先在整幅图像的直方图中找到峰值点和零值点,然后在图像中修改灰度值介于峰值和零值之间的像素,在相应直方图中峰值和零值之间的部分向零值位置移动一个位移,从而在峰值附近出现空位,最后根据二值水印信息对图像中大小等于峰值的像素值进行调整,从而达到嵌入水印的目的。该方法的优点是简单,但其允许嵌入的水印信息量过分依赖于图像自身特点,如一幅灰度值分布较为集中的图像可以嵌入较多的水印信息,而灰度值分布较广的图像可嵌入的水印信息就极其有限。为了嵌入更多的水印信息,A. Leest 等人又提出了基于分块图像直方图方法的可逆水印方案^[3]。该方案将图像分成小块区域,分别得到各个区域的直方图。由于图像分块较小,其中的像素灰度值相对集中,从而可以嵌入大量的水印信息。在对像素值修改生成空位的过程中,A. Leest 算法^[3]的目标是修改小块区域中的最大灰度值和最小灰度值,在直方图中空缺生成的位置在最大灰度值的右侧和最小灰度值的左侧。因此在图像中对灰度值的修改必须注意防止像素值上溢和下溢,同时还需对每一块中进行修改的像素灰度值进行记录,不仅繁琐,还会占据一些得来不易的空间。

上述两种算法都是基于空间域的像素值修改方法,在整个水印信息的嵌入过程中需要注意两点:

(1)嵌入信息量的大小:可逆数据隐藏应用中嵌入的水印信息主要起到认证的作用,因此希望在不影响人类视

觉效果的前提下可以嵌入尽可能充沛的数据信息。

(2)像素值溢出:像素值的修改容易引起像素值溢出情况的发生,这是几乎所有的可逆数据隐藏算法必须面对并且需要解决的问题。

2 标志点算法

文中在上述算法的基础上,提出一种称为标志点算法

的改进方案,从而在保证嵌入较多信息量的同时能够方便而有效地解决像素值溢出的问题。该算法的思路是:在原始图像的直方图中寻找某个零值点作为标志点,再将图像分成适当大小的块,用密钥信息决定块中将要修改的像素值。在分块直方图中,将要修改的像素灰度值与标志点进行比较来决定移动方向,从而在分块图像中生成可以嵌入水印的空间。同时,标

志点的设定可防止像素值取值在“0”和“255”处的移动可能发生的上溢或者下溢情况,而密钥的参与则使得水印的篡改增加了难度。标志点的确定依赖于图像整体直方图中的零值点位置,而在应用中可能出现直方图中没有零值点的特例。对于这种情况,可用最小值点来代替零值点,同时记下最小值点的位置信息,将其作为压缩扩展错误信息供以后在恢复图像时使用。

2.1 水印的嵌入

对于一幅大小为 $M \times N$ 的灰度图像,根据其相应的整体直方图和分块直方图来嵌入二值可逆水印信息。

(1)首先生成整幅图像的直方图,找到其中的一个零值点 F_1 ,作为一个标志点(flag point)。

对于没有零值点的特例,用最小值点替代零值点,同时将最小值点的位置记下,作为压缩扩展错误信息。

(2)将图像分成大小为 $m \times n$ 的分块,分别对每块进行下述操作:选取块中的某一像素灰度值作为移动点。可以让密钥 K 来确定($K = \{k_i \mid i = 1, 2, \dots, L\}, L \leq m \times n, k_1, k_2, \dots, K \leq m \times n$)块中移动点 F_2 的位置,使得在图像重构的过程中可以方便地根据密钥信息确定移动点,同时也使得水印的安全性得以提高。

(3)在分块的直方图中根据 F_1 和 F_2 的相对位置来决定像素移动的方向,并对图像中的相关像素灰度值进行修改,生成用于嵌入水印信息的空间。同时根据这一块中 F_2 的个数 number,总共可以嵌入总数为 $(\text{number} - 1)$ bits 水印信息。空位的生成与水印的嵌入分为有两种情况:

(a)若 F_1 在 F_2 右侧($F_1 > F_2$),则图像中在 $[F_2+1, F_1-1]$ 范围内的灰度值加 1,在直方图中表现为空出紧邻 F_2 右侧的空位。水印嵌入时,读取分块图像的灰度值信息,逐个找到灰度值大小等于 F_2 的像素,如需加载水印信息为“1”,将 F_2 值加 1,为“0”时不需要改动。

(b)若 F_1 在 F_2 左侧($F_1 < F_2$),则图像中在 $[F_1+1, F_2-1]$ 范围的灰度值减 1,在直方图中表现为空出紧邻 F_2 左侧的空位。水印嵌入时,读取分块图像的灰度值信息,逐

个找到灰度值大小等于 F_2 的像素,如需加载水印信息为“1”,将 F_2 信息减 1,为“0”时不需要改动。

2.2 水印的提取

水印提取和图像恢复是水印嵌入的一个逆过程,在已知密钥和标志点等必要信息后,可按下列步骤恢复图像:

(1) 将图像分成大小为 $m \times n$ 的块,按照密钥信息 K 找到每一块中的移动点 F_2 。将 F_2 的值与 F_1 进行比较确定像素值的移动方向。

(2) 读取分块图像的灰度值信息,遇到 F_2 值则可提取水印信息“0”,遇到 F_{2+1} (或者 F_{2-1}) 值时则可提取水印信息“1”,同时将为 F_{2+1} (或者 F_{2-1}) 的灰度值减(加)1,从而提取出先前嵌入的全部水印信息。

(3) 根据提取出的水印信息判断所接收图像信息的完整性和可靠性。认证之后,将每一小块中的 F_2 值与 F_1 值进行比较,若 F_1 在 F_2 右侧($F_1 > F_2$),则图像中在 $[F_{2+2}, F_1]$ 范围内的灰度值减 1;若 F_1 在 F_2 左侧($F_1 < F_2$),则图像中在 $[F_1, F_{1-2}]$ 范围内的灰度值加 1,从而完成原始图像的重构恢复。

对于存在压缩扩展错误信息的情况,在上述提取过程完成之后,还要根据压缩扩展错误信息对图像进行调整,以精确恢复原始图像。

3 实验结果

笔者对所提出的算法进行了测试,表 1 所示是将 6 幅图像分别划分为 8×8 和 4×4 大小的块进行实验的结果,包括相应的 PSNR 值和平均每个像素可以嵌入的水印比特数(b/p)。图 2 所示为进行实验的 6 幅图像。

表 1 实验结果

图像名称	大小	分块	PSNR	b/p
lena	512×512	8×8	51.0863	0.042
		4×4	51.3005	0.052
baboo	512×512	8×8	51.2989	0.016
		4×4	51.4515	0.018
peppers	512×512	8×8	50.9322	0.043
		4×4	51.3105	0.054
lena256	256×256	8×8	57.1211	0.038
		4×4	57.3361	0.054
couple	256×256	8×8	59.5608	0.453
		4×4	57.0881	0.535
girl	256×256	8×8	54.0695	0.409
		4×4	53.5588	0.491

从表 1 中的数据可以看到,对于同一幅图像来说,分块的大小会引起嵌入水印多少的变化。随着分块的适当减小,这一区域中像素值的分布会趋于集中,从而可以嵌入较多的水印信息。同时在实验过程中,完全可以忽略在 A. Leest 算法^[3]需要考虑的上溢、下溢以及修改的像素值位置等状况,实验操作更加简单。从试验及其结果可以看出,文中所提出的这种可逆水印算法在图像中的应用可以

取得较为满意的效果。但是基于直方图的修改对于不同图像在嵌入水印容量大小上存在一定的差异,对于灰度值分布较广的图像,如图 2(b),嵌入的信息量较小,而灰度值的分布集中在一定范围之内的图像则可以嵌入较为充沛的信息,如图 2(e,f)。

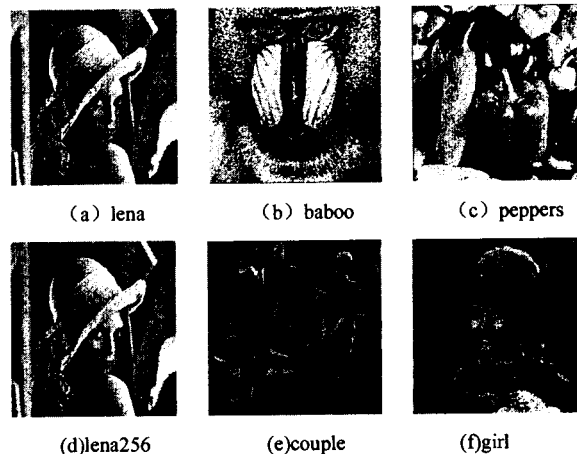


图 2 进行实验的图像

4 小结

文中对于一种基于直方图的可逆水印算法进行了改进,通过标志点(F_1)和移动点(F_2)的相对位置的比较和像素值的修改来生成用于嵌入水印信息的空位,同时 F_1 的设定可以有效避免灰度值上溢和下溢现象的发生,实验结果也表明可以嵌入较多的水印信息,其 PSNR 值也较能令人满意。

参考文献:

- [1] Honsinger C W, Jones P W, Rabbani M, et al. Lossless recovery of an original image containing embedded data[P]. US Patent, Docket No: 77102~E(D, 1999).
- [2] Ni Zhicheng, Shi Y Q, Ansari N, et al. Reversible data hiding [A]. IEEE Proceedings of ISCAS'03[C]. [s. l.]: [s. n.], 2003. 912~915.
- [3] Leest A, Veen M, Bruekers F. Reversible Image Watermarking [A]. Proceedings 2003 International Conference[C]. [s. l.]: [s. n.], 2003. 731~734.
- [4] Yang Bian, Schmucker M, Niu Xiamu, et al. Reversible image watermarking by histogram modification for integer DCT coefficients[A]. Multimedia Signal Processing, 2004 IEEE 6th Workshop[C]. [s. l.]: [s. n.], 2004. 143~146.
- [5] Celik M U, Sharma G, Tekalp A M, et al. Reversible data hiding[A]. Proceedings 2002 International Conference on Volume 2[C]. [s. l.]: [s. n.], 2002. 157~160.
- [6] De Vleeschouwer C, Delaigle J F, Macq B. Circular interpretation of bijective transformations in lossless watermarking for media asset management[J]. Multimedia, IEEE Transactions, 2003, 5(1): 97~105.