

一种改进的基于汉明纠错码的图像恢复算法

彭凡 王沛 陈胜

(上海师范大学通信工程系, 上海 200234)

摘要 为减少汉明纠错译码时出现的错误,以减少错纠和乱纠的可能和提高恢复图像的质量,提出了一种改进的基于汉明纠错码的图像恢复算法。该算法首先将灰度图像的最高位平面(MSB)分成4大块;然后再将每大块分成4小块,并进行小块的垂直对调,同时对处理后的4大块中相同像素位置处的二进制位进行(7,4)汉明编码;最后将产生的3个监督位平面各自进行大块内小块的对角对调,再将处理后的3个大块按监督位顺序依次嵌入到原始图像的前面3大块的对应像素的最低位(LSB)。第2重要位平面(2MSB)和第3重要位平面(3MSB)也进行同样处理,并分别嵌入到次低位(2LSB)和再次低位(3LSB)。实验结果表明,该改进方法比原方法在剪切、替换、均值和中值滤波以及JPEG有损压缩情况下,可取得更好的图像恢复效果,且恢复算法带来的噪声大大减少。

关键词 最高位平面 汉明纠错编码 对调 图像恢复

中图分类号:TP391.41 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)10-2043-04

An Improved Algorithm of Restoring Image Based on Hamming Error-correcting Codes

PENG Fan, WANG Pei, CHEN Sheng

(Communication Engineer Department, Shanghai Normal University, Shanghai 200234)

Abstract For reducing the errors which arisen during Hamming error-correcting decoding so that the likelihood of mistakenly and randomly rectifying is cut down and the quality of restored image is improved, an improved algorithm of restoring image based on Hamming error-correcting codes is presented. This algorithm first divides the most significant bit (MSB) plane of a grayscale image into four big blocks. Then each big block is divided into four small blocks and they are exchanged vertically in a big block. Secondly, the four binary bits at the same pixel position of four big blocks are encoded according to (7,4) Hamming encoding and the three checkout bit plane big blocks are implemented with diagonal exchanging in itself, then the exchanged three big blocks are embedded into the least significant bit (LSB) of corresponded pixel of the first three big blocks of the original image orderly according to checkout bit sequence. Then the second most significant bit plane (2MSB) and the third one (3MSB) are operated using above algorithm and embedded respectively into the second least significant bit plane (2LSB) and the third one (3LSB). The experiment results indicate that the improved method has obtained better restored image effect than the original one in the circumstance of cutting, replacing, average filtering and median filtering, and JPEG lossy compression. And the noise caused by the restored algorithm is reduced largely.

Keywords most significant bit (MSB), Hamming error-correcting encoding, exchange, image restoration

1 引言

信息化社会的发展,使数字多媒体的安全性受到挑战。以图像为例,利用 Photoshop 软件,人们可

以随意地更改图像,这些都使得对于图像内容真伪的判断变得更加困难,近期闹得沸沸扬扬的“华南虎”和“藏羚羊”事件更是将对图像内容的真实性进行认证的问题推向了风口浪尖。

基金项目:国家教育委员会科研创新项目(08YZ75)

收稿日期:2008-06-10;改回日期:2008-07-01

第一作者简介:彭凡(1980~),男,2003年于哈尔滨工程大学获热能与动力工程专业学士学位。现为上海师范大学通信与信息系统专业硕士研究生。主要研究方向为图像处理、图像内容认证。E-mail:tom127_2001@163.com

目前已提出许多用于图像内容认证的数字图像水印技术,其中关于图像篡改恢复的算法主要有纠错编码和低分辨率版本替换两种。在运用纠错编码的恢复技术中,文献[1]运用(7,4)汉明纠错编码和 Arnold 置乱来恢复原图的最高位(MSB)信息,但是恢复结果却包含了相当的噪声;在运用低分辨率版本替换的恢复技术中,文献[2]利用 JPEG 压缩原理,通过分块图像的离散余弦变换系数进行恢复,但是只能准确恢复出原图像 1/25 大小范围的数据。

本文在文献[1]算法的基础上,做出了一些有效的改进,实验结果表明,在大多数攻击情况下,改进后的算法,其图像恢复效果都要好于原算法。

2 数字水印嵌入提取及恢复算法

2.1 关于文献[1]水印嵌入算法中,在将 MSB 信息分成等大小 4 块后,再采用 Arnold 变换(见文献[1])对各个块进行置乱处理的分析及改进方法

如图 1 所示,图 1(a)~图 1(d)是改进算法的 4 个处理步骤,图 1(a)表示 MSB(most significant bit)位平面被分成等大小的 4 大块,图 1(b)表示 MSB 位平面的 4 大块的每块被分成等大小的 4 个小块,图 1(c)表示由 MSB 位平面的 4 大块的相同像素位置的 4 个二进制位经(7,4)汉明编码产生的与 MSB 位平面的 4 大块的每块大小相同的 3 个监督位平面大块(为便于理解,以 I,II,III,IV 等 4 个大块都取左上角顶点(1,1)位置为例,这 4 个位置的二进制位经(7,4)汉明编码产生 3 个监督位,第 1 个监督位被置于第 V 大块的(1,1)位置,第 2 个监督位被置于第 VI 大块的(1,1)位置,第 3 个监督位被置于第 VII 大块的(1,1)位置,其余位置情况依此类推),它们在经过某种处理后,将被嵌入到原始图像相应于图 1(a)中 I,II,III 块位置的 LSB(least significant bit)具体地,就是将 V 块处理后嵌入 I 块,VI 块处理后嵌入 II 块, VII 块处理后嵌入 III 块,而 IV 块的 LSB 信息不变。图 1(d)表示 3 个监督位平面大块中的每块被分成等大小的 4 个小块。

文献[1]算法中引入 Arnold 置乱的本意是为了减少在纠错前错误集中发生的可能,但 Arnold 置乱无形中也增加了在恢复时发生椒盐噪声的可能性,并且在图像中央区域遭篡改时,这种情况尤为明显。因为 Arnold 置乱的特点决定了它不可能做到使比较集中的错误的二进制位在经过一定次数的置乱后能够总体上从篡改区域移开,而译码则是在 7 个大

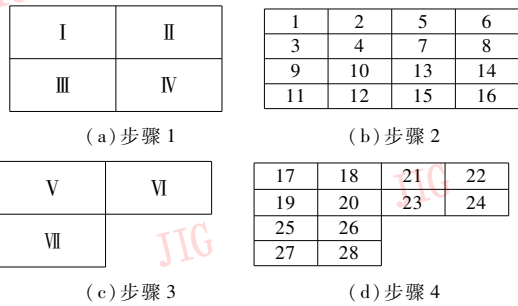


图 1 改进算法示意图

Fig. 1 The sketch map of improved algorithm

块的相同像素位置处进行,这就增加了在汉明纠错译码时出现两个或以上错误的可能性,而(7,4)汉明码只能纠一位错,当错误数超出它的纠错能力时,就会出现有错不纠和没错乱纠的情况,这就导致了在恢复图像中噪声点的产生。

为解决这一问题,可从尽量减少纠错译码前错误发生的可能性出发,考虑将比较集中的错误二进制位整体从一个小块位置移动到另一小块位置,从而使得错误数尽量不超过(7,4)汉明码的纠错能力,进而产生了区域对调的想法。

对文献[1]算法的另一个改进表现在,文献[1]算法仅仅只恢复遭篡改图像的 MSB,而改进后的算法则将遭篡改图像的 MSB,2MSB,3MSB 都加以恢复,使恢复后的图像更加接近原始图像,同时,在原始图像低三位的位平面嵌入水印的图像质量均在观察者可接受的范围之内。

2.2 水印嵌入方案

水印嵌入方案(参见图 1(a)~图 1(d))如下:

- (1)对原始图像进行位平面分解,先提取 MSB 信息;
- (2)将 MSB 分成等大小的 4 大块,而每大块又分成等大小的 4 小块,并对各大块内的小块进行垂直对调,具体的做法为 1 块和 3 块的二进制位整体对调,(以下省去“块”)2 和 4 对调,5 和 7 对调,6 和 8 对调,9 和 11 对调,10 和 12 对调,13 和 15 对调,14 和 16 对调(图 1(b));
- (3)将处理后 4 大块的 MSB 的相同像素位置二进制位用(7,4)汉明码(参见文献[1],[3])进行编码;
- (4)将编码后得到的 3 个监督位平面大块进行大块内小块的对角对调,具体的做法为 17 块和 20 块的二进制位整体对调,18 和 19 对调,21 和 24 对调,22 和 23 对调,25 和 28 对调,26 和 27 对调(图 1(d));
- (5)将处理后的 3 个监督位平面大块按监督位

顺序依次嵌入原图的 I, II, III 大块的 LSB;

(6) 依次对原图的 2MSB 和 3MSB 进行和上面类似的处理, 即得到最终的含水印图像(注意: 后两次得到的监督位平面应该嵌入到前一次已嵌入水印的结果图像中, 且分别嵌入到 2LSB 和 3LSB)。

2.3 水印的提取及恢复

水印提取及恢复步骤(参见图 1(a) ~ 图 1(d))如下:

(1) 对提取的遭到篡改的含水印图像的 I, II, III 大块的 LSB 进行大块内小块的对角对调, 以得到恢复的原正确的监督位平面;

(2) 将遭到篡改的含水印图像进行位平面分解, 以提取图像的 MSB;

(3) 将 MSB 进行大块内小块的垂直对调, 再结合步骤(1)得到的监督位平面来进行纠错译码(参见文献[1]、[3]);

(4) 通过对译码后得到的 I, II, III, IV 4 个大块进行大块内小块的垂直对调来得到恢复的 MSB;

(5) 用恢复后的 MSB 取代遭篡改的含水印图像的 MSB;

(6) 依次提取遭篡改的含水印图像的 2LSB 和 3LSB, 进行和以上类似处理, 用恢复后的 2MSB 和 3MSB 取代遭篡改的含水印图像的 2MSB 和 3MSB, 其余 5 个位平面(4MSB, 5MSB, 6MSB, 7MSB, 8MSB) 保持不变, 即得到最终的恢复图像。

3 实验结果及分析

为验证本文算法的图像恢复效果, 采用灰度为 256 级、大小为 256×256 的 Lena 图像(图 2)进行了图像恢复仿真实验, 实验是采用了 Matlab 7.0 作为工具, 实验结果如图 3 ~ 图 5 所示。



图 2 原始 Lena 图像

Fig. 2 The original "Lena" figure

3.1 在 LSB 嵌入水印时, 文献[1]算法和本文改进算法对于剪切攻击的图像恢复情况比较

由于只恢复 MSB, 故在被剪切区域只有 127 和

255 两种可能的灰度值(被剪切区域内的像素值低于 7 位都为 1111111), 其恢复效果偏离原图较远。比较而言, 改进后算法的恢复图中的噪声点要明显少于改进前算法的恢复图像(参见图 3)。



(a) 文献[1]算法嵌入水印后的图像



(b) 本文改进算法嵌入水印后的图像



(c) 对剪切只涉及及左下大块时的含水印图像, 文献[1]算法恢复图像



(d) 对剪切只涉及及左下大块时的含水印图像, 本文改进算法恢复图像



(e) 对剪切涉及 4 个大块时的含水印图像, 文献[1]算法恢复图像



(f) 对剪切涉及 4 个大块时的含水印图像, 本文改进算法恢复图像

图 3 水印嵌入 LSB 时两种算法的恢复效果比较

Fig. 3 The restoring effect comparison of two algorithms when watermark is embedded into LSB

3.2 在 LSB, 2LSB, 3LSB 都嵌入水印时, 文献[1]算法和本文改进算法对于剪切和替换攻击的图像恢复情况比较

由于 MSB, 2MSB 和 3MSB 都进行了恢复, 故在被剪切的区域有 8 种可能的灰度值(被剪切区域内的像素值低 5 位都为 11111), 其恢复效果已很接近原图。比较而言, 改进后算法的恢复图中的噪声点同样要明显少于改进前算法的恢复图(参见图 4)。

3.3 对含水印图像用均值和中值滤波及 JPEG 压缩时文献[1]算法和本文改进算法的恢复效果比较(见图 4)

在低三位都嵌入水印时, 经均值滤波(3×3 , 边缘复制)后用文献[1]算法恢复, 原始图像和恢复图像的峰值信噪比 PSNR 值均为 13.8018dB, 而经同样处理后, 用本文改进算法恢复, PSNR 值为 14.0983dB; 经中值滤波(3×3 , 边缘 0 填充)后, 用



图 4 水印嵌入 LSB,2LSB,3LSB 时,两种算法的恢复效果比较

Fig. 4 The restoring effect comparison of two algorithms when watermark is embedded into LSB,2LSB,3LSB

文献[1]算法恢复后图像的 PSNR 值为 15.153 3dB, 而经同样处理后,用本文改进算法恢复后图像的 PSNR 值为 22.481 2dB;采用文献[1]算法和本文改进算法对在低 3bits 都嵌入水印的含水印图像进行 JPEG 有损压缩时(品质因子为 10~90)的 PSNR 值比较如图 5 所示:

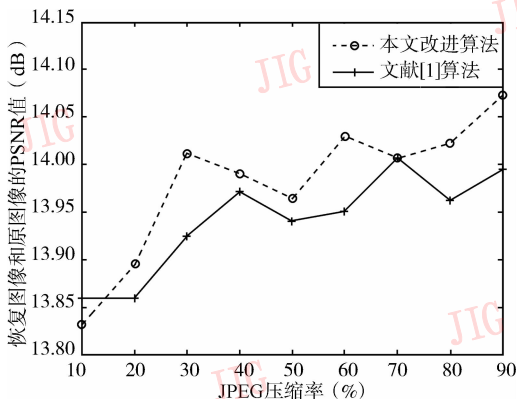


图 5 低 3bits 都嵌入水印时,两种算法在 JPEG 压缩时的性能比较

Fig. 5 The performance comparison of two algorithms under JPEG compression when watermark is embedded into LSB,2LSB,3LSB

4 结 论

实验结果显示,本文的改进算法比文献[1]算法对于图像剪切和替换攻击具有更好的图像恢复效果,不仅恢复带来的椒盐噪声大大减少,且恢复图像

也更接近于原图。但当对图像的剪切或替换范围超过 4 个小块时,改进算法的恢复效果不如文献[1]算法,因为此时改进算法的恢复结果在篡改区域已经与原始图像相差很大,而文献[1]算法的恢复结果虽仍有相当多的椒盐噪声,但从篡改区域仍可看出原图的大致轮廓。为使大范围剪切或替换的图像其恢复效果更好,可考虑采用纠错能力更强的纠错码或继续改进图像的分块和对调方法。由实验结果可看到,和多数空域水印算法一样,本算法对均值和中值滤波以及 JPEG 压缩等这类常见的频域处理仍然缺乏鲁棒性,所以探讨将水印嵌入频域应该是下一步的研究方向。

参考文献 (References)

- 1 Peng Bo, Wang Ping. The research and implement about restorable fragile image watermarking technique [J]. Journal of System Simulation, 2006, 18(1):366~368. [彭波,王平.可恢复的脆弱图像水印技术的研究与实现[J].系统仿真学报,2006,18(1):366~368.]
- 2 Shan Cheng-gan, Wang Yan, Pan Li-gang. The restorable algorithm about fragile digital watermarking image authentication [J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science), 2005, 28(9):1117~1120. [单承赣,王艳,潘理刚.可恢复的脆弱数字水印图像认证算法[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2005,28(9):1117~1120.]
- 3 McEliece R J. The Theory of Information and Coding (Second Edition) [M]. (Li Dou, Yin Yue, Luo Yan, etc. Translate) Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004:110~114. [McEliece R J 著.信息论与编码理论(第二版)[M].李斗,殷悦,罗燕等译.北京:电子工业出版社,2004:110~114.]