

doi:10.11835/j.issn.1000-582X.2014.09.006

利用行列变换的无损信息隐藏算法

杨 有, 翟 浩, 余 平

(重庆师范大学 计算机与信息科学学院, 重庆 401331)

摘 要:为了充分挖掘载体图像的像素相关性,提出一种利用行列变换的无损信息隐藏算法 LDHA_RT。该算法依次计算列方向、行方向和对角线方向的像素差及其直方图,对获得的像素差直方图进行移位以构造冗余空间,实现在指定差值处嵌入隐藏信息。在提取隐藏信息后,LDHA_RT 算法可以无损地恢复载体图像,不需要除隐藏信息以外的附加信息。仿真实验表明,与参考文献的算法相比,LDHA_RT 算法的 PSNR/bits 是最低的或接近最低的,表明该算法在保证图像质量的情况下,具有隐藏信息容量大的优势。

关键词:信息隐藏;行列变换;像素差;直方图移位;无损恢复

中图分类号:TP309.2

文献标志码:A

文章编号:1000-582X(2014)09-040-07

Lossless data hiding with ranks transform

YANG You, ZHAI Hao, YU Ping

(College of Computer and Information Science, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: For taking full advantage of carrier image's pixel correlation, a lossless data hiding algorithm with ranks transform (LDHA_RT) is proposed. Along with three directions of column, row and diagonal, the pixel difference images and their histograms are calculated one after another. The obtained pixel difference histograms are shifted to construct the redundancy spaces, so that the hiding information could be embedded in a designated position. After the hiding data is extracted, the carrier image could be recovered reversibly without any additional information. The experiments demonstrate that the PSNR/bits of the LDHA_RT is the lowest or close to the lowest, compared with these algorithms mentioned in the references. This implies that the LDHA_RT has large capacity of hiding data under a good image quality.

Key words: data hiding; ranks transform; pixel difference; histogram shift; lossless recovery

随着计算机技术和通信技术的日益成熟,网络通信已经成为人们进行信息传播必不可少的工具。而在所有传播的数字信息中,又主要以图像为主。据美国国家安全局统计,在所有传播的数字信息当中,数字图像占到所有信息的 70%。伴随着网络技术给我们带来便利的同时,信息安全问题也变得日趋严重,引起了人们的高度重视。信息隐藏技术作为信息安全的一种重要技术,对于隐秘信息可以在通信信道中安全传输,具有重要的研究意义^[1-2]。

可逆信息隐藏技术是指在嵌入秘密信息时,如果含密载体在公共信道传输过程没有被篡改,那么合法用户和授权机构在接收端可以根据算法提取出隐藏的秘密信息,并能够完全修复失真,实现原始数据的精准恢复^[3]。

收稿日期:2014-09-18

基金项目:重庆市教委科研资助项目(KJ130646,KJ110629)

作者简介:杨有(1965-),男,重庆师范大学副教授,主要从事数字图像处理信息安全研究,(E-mail)565357950@qq.com。

在多媒体数据内容需要保护的应用场合,比如在医疗图像系统、军事图像系统、数字艺术品珍藏等场合,任何有可能导致图片永久失真的技术都是不能容忍的。因为如果嵌入信息使得这些图片永久失真的话,会导致图片失去原有价值甚至引起法律纠纷^[4]。因此,在提取隐秘信息以后,原始载体能够完全复原,没有丝毫的受损就显得尤为重要,满足这种特性的信息隐藏技术被称之为无损信息隐藏技术。

当前的可逆信息隐藏算法主要有5大类:基于算术取模运算的无损信息隐藏算法^[5-6]、基于图像压缩的无损信息隐藏算法^[7-9]、基于差值扩展的无损信息隐藏算法^[10-15]、基于直方图移位的无损信息隐藏算法^[16-18]和基于频域的无损信息隐藏算法^[19-20]。为了可以多层嵌入隐藏信息,文中算法采用了基于直方图移位这类算法。以往基于直方图移位这类算法都是采用列方向像素差和行方向像素差进行直方图移位构造冗余空间,以嵌入隐藏信息;然而对角线像素也具有很高的相关性,以往的算法并没有达到图像的最大嵌入容量。因此,文中将对角线方向像素差引入算法,在保证图像质量的前提下,进一步提高了嵌入容量。

1 无损信息隐藏算法 LDHA_RT

1.1 算法的基本思想

无损信息隐藏算法(lossless data hiding algorithm with ranks transform, LDHA_RT)的主要思想如图1所示。

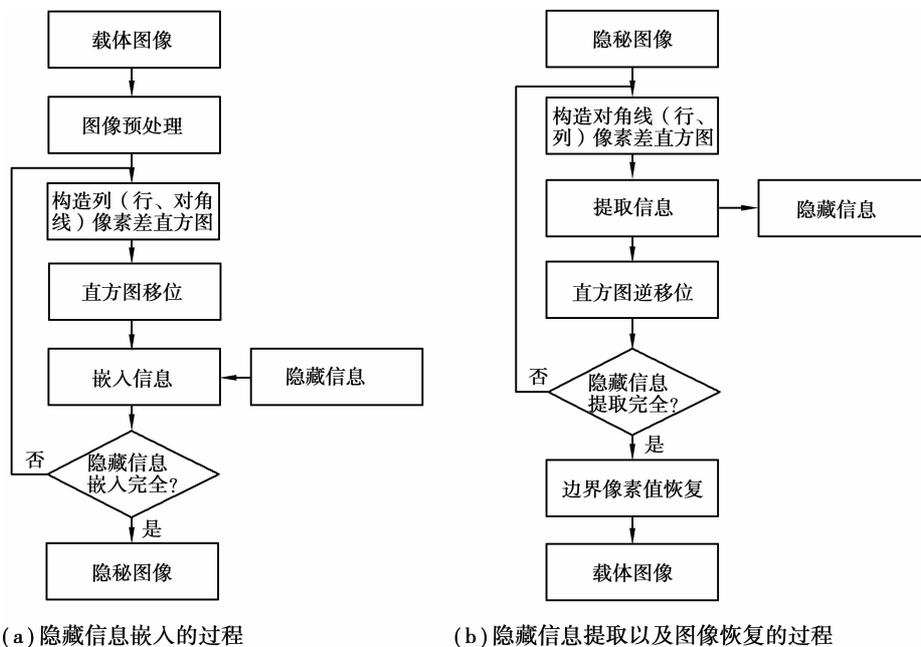


图1 算法的基本思想

隐藏信息嵌入的过程:1)对图像进行预处理,防止图像边界像素值溢出,将图像有可能溢出的像素值重置,并将边界像素值存入预处理信息当中。2)充分利用列方向像素的相关性,对图像进行列方向像素差,计算像素差直方图并进行直方图移位,来构造冗余空间,采用像素差绝对值从4到1作为嵌入基元,嵌入隐藏信息,随后根据像素差矩阵进行载体图像恢复,构造隐秘图像。3)充分利用行方向像素的相关性,对图像进行行方向像素差,计算像素差直方图并进行直方图移位,来构造冗余空间,采用像素差绝对值从4到1作为嵌入基元,来嵌入隐藏信息,随后根据像素差矩阵进行载体图像恢复,构造隐秘图像。4)充分利用对角线像素的相关性,对图像进行行列变换,计算对角线像素差直方图并进行直方图移位,用来构造冗余空间并嵌入隐藏信息,随后根据像素差矩阵进行载体图像恢复,最后需要对图像进行行列逆变换,恢复隐秘图像。

隐藏信息提取以及载体图像恢复的过程:1)对隐秘图像进行行列变换,构造对角线像素差,计算对角线像素差直方图,采用像素差绝对值从1到4作为提取基元,来提取隐藏信息,并进行像素差直方图逆移位,构造原始像素差值矩阵,随后根据原始像素差值矩阵,进行载体图像的恢复并对载体图像进行行列逆变换,恢复载体图像。2)对隐秘图像构造行方向像素差,计算行方向像素差直方图,采用像素差绝对值从1到4作为提取基元,来提取隐藏信息,并进行像素差直方图逆移位,构造原始像素差值矩阵,随后根据原始像素差值矩阵,恢复载体图像。3)对隐秘图像构造列方向像素差,计算列方向像素差直方图,采用像素差绝对值从1到4作为提取基元,来

提取隐藏信息,并进行像素差直方图逆移位,构造原始像素差值矩阵,随后根据原始像素差值矩阵,恢复载体图像。4)对载体图像进行边界像素值恢复,使载体图像恢复成原始载体图像,根据预处理信息,对图像中指定的像素进行像素值恢复,就可以得到无损的原始载体图像。

1.2 行列变换算法

假设 \mathbf{A} 是原始载体图像矩阵, \mathbf{B} 是经过行列变换后的图像矩阵,矩阵为 $M \times N$ 的矩阵。该算法的主要思想是:将矩阵 \mathbf{A} 中主对角线上的元素依次放入矩阵 \mathbf{B} 的第一行;将矩阵 \mathbf{A} 中紧靠主对角线下面的 $N-1$ 个元素依次放入矩阵 \mathbf{B} 的第二行前 $N-1$ 个元素,矩阵 \mathbf{B} 中第二行第 N 个元素用矩阵 \mathbf{A} 中第一行第 N 列的元素补齐,即 $\mathbf{B}(2, N) = \mathbf{A}(1, N)$ 。以此类推,该行列变换算法用数学公式描述为

$$\mathbf{B}(i, j) = \mathbf{A}(i + j - 1, j), \quad (1)$$

式中: $i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, N-i+1$ 。

$$\mathbf{B}(i, j) = \mathbf{A}(i + j - 1 - N, j), \quad (2)$$

式中: $i=1, 2, \dots, N; j=N-i+2, N-i+3, \dots, N$ 。

相反,行列逆变换算法的主要思想就是将 \mathbf{B} 中第一行的像素放入 \mathbf{A} 中的主对角线上,将 \mathbf{B} 中第二行的 $N-1$ 个元素放入 \mathbf{A} 中对角线的下一行, \mathbf{B} 中第二行的最后一个元素放入 \mathbf{A} 中第一行第 N 列上,即 $\mathbf{A}(1, N) = \mathbf{B}(2, N)$ 。以此类推,该行列逆变换算法的数学公式描述为

$$\mathbf{A}(i, j) = \mathbf{B}(i - j + 1, j), \quad (3)$$

式中: $i=1, 2, \dots, N; j=1, 2, \dots, i$ 。

$$\mathbf{A}(i, j) = \mathbf{B}(i - j + 1 + N, j), \quad (4)$$

式中: $i=1, 2, \dots, N; j=i+1, i+2, \dots, N$ 。

1.3 隐藏信息的嵌入

首先,需要对原始载体图像 $\mathbf{I}(i, j)$ 进行相邻像素差计算,得到像素差值矩阵 $\mathbf{D}(i, j)$ 。对于 $M \times N$ 大小的 8 位灰度图像,扫描图像中的所有像素值,计算载体图像的相邻像素差,用数学公式描述为

$$\mathbf{D}(i, j) = \mathbf{I}(i, j) - \mathbf{I}(i, j + 1). \quad (5)$$

在信息嵌入之前,需要对差值矩阵进行直方图移位处理,用来构造冗余空间。在此,使用 δ 作为差值矩阵要嵌入隐藏信息的标志位。根据差值直方图是单方向调整还是朝两个方向调整,像素差调整分为 $\delta=0$ 和 $\delta \neq 0$ 两种情况。

1) 当 $\delta=0$ 时,即使用像素差为 0 作为嵌入基元来其嵌入隐藏信息。

按照一定顺序依次扫描图像中的每个像素差值,凡是遇到大于 0 的像素差值全部加 1,遇到小于等于 0 的像素差值保值不变。此时,将不再存在像素差值为 1 的元素。用数学公式描述为

$$\mathbf{D}'(i, j) = \begin{cases} \mathbf{D}(i, j) + 1, & \mathbf{D}(i, j) > 0, \\ \mathbf{D}(i, j), & \text{其他。} \end{cases} \quad (6)$$

经过以上的计算后,就相当于把差值矩阵中所有大于 0 的像素差值全部右移 1 位,此时差值矩阵中将不再存在像素差值为 1 的元素。

隐藏信息在嵌入之前需要转化成二进制比特流,然后一位一位的嵌入到载体图像之中。按照一定顺序扫描差值矩阵的每个像素差值,此时将利用像素差值 0 的元素作为信息嵌入基元。当遇到像素差值为 0 时,隐藏信息的比特位 $b(k)=0$ 时,像素差值不变;当遇到像素差值为 0 时,隐藏信息的比特位为 $b(k)=1$ 时,对像素差值加 1 变为 1。用数学公式描述为

$$\mathbf{D}^*(i, j) = \begin{cases} \mathbf{D}'(i, j) + 1, & \mathbf{D}'(i, j) = 0 \quad \text{且} \quad b = 1, \\ \mathbf{D}'(i, j), & \text{其他。} \end{cases} \quad (7)$$

2) 当 $\delta \neq 0$ 时,即使用相邻像素差为 $\pm \delta$ 作为嵌入基元来嵌入隐藏信息。

按照顺序扫描图像中差值矩阵中的像素差值,范围在 $[-\delta, \delta]$ 的像素差值保持不变,像素差值大于 δ 的元素加 1,像素差值小于 $-\delta$ 的元素减 1。此时,差值矩阵将不再存在元素为 $\delta+1$ 和 $-\delta-1$ 的元素。用数学公式描述为

$$\mathbf{D}'(i, j) = \begin{cases} \mathbf{D}(i, j) + 1, & \mathbf{D}(i, j) > \delta, \\ \mathbf{D}(i, j) - 1, & \mathbf{D}(i, j) < -\delta, \\ \mathbf{D}(i, j), & \text{其他。} \end{cases} \quad (8)$$

该过程是把像素差值直方图中大于 δ 的元素右移1位,把小于 $-\delta$ 的元素左移1位,此时,差值矩阵将不再存在元素为 $\delta+1$ 和 $-\delta-1$ 的元素。

隐藏信息在嵌入之前需要转化成二进制比特流。按照顺序扫描差值矩阵中的每个像素差值,此时将利用像素差值为 δ 和 $-\delta$ 作为信息嵌入基元。当遇到像素差值为 δ 时,隐藏信息的比特位 $b(k)=0$ 时,像素差值不变;当隐藏信息的比特位 $b(k)=1$ 时,像素差值加1。当遇到像素差值为 $-\delta$ 时,隐藏信息的比特位 $b(k)=0$ 时,像素差值不变;当隐藏信息的比特位 $b(k)=1$ 时,像素差值减1,当遇到其他情况的像素差值,像素差值保持不变。用数学公式描述为

$$\mathbf{D}^*(i,j) = \begin{cases} \mathbf{D}'(i,j)+1, & \mathbf{D}'(i,j)=\delta \quad \text{且 } b=1, \\ \mathbf{D}'(i,j)-1, & \mathbf{D}'(i,j)=-\delta \quad \text{且 } b=1, \\ \mathbf{D}'(i,j), & \text{其他。} \end{cases} \quad (9)$$

$\mathbf{D}^*(i,j)$ 表示嵌入隐藏信息后的像素差值矩阵。隐秘图像 $\mathbf{I}^*(i,j)$ 为

$$\mathbf{I}^*(i,j) = \mathbf{I}(i,j+1) + \mathbf{D}^*(i,j). \quad (10)$$

在求隐秘图像 $\mathbf{I}^*(i,j)$ 时,图像的最后一列像素值并没有发生改变,因此,隐秘图像的最后一列像素值为原载体图像的最后一列像素值为

$$\mathbf{I}^*(i,N) = \mathbf{I}(i,N). \quad (11)$$

1.4 隐藏信息的提取以及载体图像的恢复

隐藏信息的提取过程是隐藏信息嵌入的逆过程。隐藏信息提取过程如下:首先,由于在嵌入隐藏信息时,图像的最后一列像素值没有发生变化,因此,需恢复原始载体图像的最后一列像素值,即

$$\mathbf{I}(i,N) = \mathbf{I}^*(i,N). \quad (12)$$

根据隐秘图像求像素差值矩阵时,需要从右往左进行像素差值计算为

$$\mathbf{D}^*(i,j) = \mathbf{I}^*(i,j) - \mathbf{I}^*(i,j+1). \quad (13)$$

每得到一个像素差值,需要根据 δ 的取值来从 \mathbf{D}^* 中提取隐藏信息,并恢复载体图像。这里根据 δ 的取值是否为0也分为2种情况。

1)当 $\delta=0$ 时,表示使用像素差值0作为嵌入基元来嵌入隐藏信息。

当像素差值为0时,提取隐藏信息0,当前像素差值不变;当像素差值为1时,提取隐藏信息1,并将当前像素差值减1。当遇到像素差值大于1时,将当前像素差值减1;当遇到除以上情况的其他像素差值时,该像素差值保持不变。

$$\mathbf{D}(i,j) = \begin{cases} \mathbf{D}^*(i,j) - 1, & \mathbf{D}^*(i,j) > 0, \\ \mathbf{D}^*(i,j), & \mathbf{D}^*(i,j) \leq 0. \end{cases} \quad (14)$$

2)当 $\delta \neq 0$ 时,表示使用像素差值为 δ 和 $-\delta$ 作为嵌入基元来嵌入隐藏信息。

当像素差值为 δ 时,提取隐藏信息0,当前像素差值不变;当像素差值为 $-\delta$ 时,提取隐藏信息0,当前像素差值不变;当像素差值为 $\delta+1$ 时,提取隐藏信息1,当前像素差值减1;当像素差值为 $-\delta-1$ 时,提取隐藏信息1,当前像素差值加1;当像素差值大于 $\delta+1$ 时,当前像素差值减1;当像素差值小于 $-\delta-1$ 时,当前像素差值加1;像素差值位于 $(-\delta,\delta)$ 的元素保持不变。用数学公式描述为

$$\mathbf{D}(i,j) = \begin{cases} \mathbf{D}^*(i,j) - 1, & \mathbf{D}^*(i,j) \geq \delta + 1, \\ \mathbf{D}^*(i,j) + 1, & \mathbf{D}^*(i,j) \leq -\delta - 1, \\ \mathbf{D}^*(i,j), & -\delta \leq \mathbf{D}^*(i,j) \leq \delta. \end{cases} \quad (15)$$

最后根据原始差值矩阵 $\mathbf{D}(i,j)$ 恢复原始载体图像。用数学公式描述为

$$\mathbf{I}(i,j) = \mathbf{I}^*(i,j+1) + \mathbf{D}(i,j). \quad (16)$$

经过以上的提取步骤,可以完整地提取隐藏信息并能够无失真地恢复原始载体图像。

1.5 溢出问题的处理

如果对以上载体图像未做任何处理,直接利用上述方法嵌入隐藏信息,将有可能使载体图像中的某些边界像素值越界,导致载体图像不能完全修复。因此,在对载体图像进行隐藏信息嵌入之前,需要先对载体图像进行预处理,预处理的主要目的是为了防止隐藏信息嵌入后,导致图像的边界像素值越界,而使原始载体图像无法无损恢复。由于对图像每进行一次隐藏信息嵌入后,图像的像素值最大改变为1,当经过 X 层嵌入后,图像的像素值最大改变为 X 。于是,当我们进行 X 层嵌入时,只需要对小于 X 的元素和大于 $255-X$ 的元素进行预处理

就可以保证载体图像不会发生像素值溢出。

对于像素值小于 X 的元素,全部将其置为 X ;对于像素值大于 $255-X$ 的元素,全部将其置为 $255-X$,这样就可以保证在进行多层嵌入时不会发生像素值溢出的现象。将这些像素点以 $\langle(x,y),\text{像素值}\rangle$ 形式添加到预处理文件中,作为预处理信息,跟在隐秘信息之后进行传送。

2 仿真实验

实验是在 Matlab R2010b 的环境下实现的。为了验证文中算法的性能,实验中采用 512×512 的 8 幅经典灰度图像作为测试对象,二进制的隐藏信息是由 Matlab 的随机生成器生成。8 幅图像在进行信息嵌入之前,都经过了预处理,保证图像在信息嵌入之后,不会发生像素值的溢出。8 幅经典灰度图像如图 2 所示。

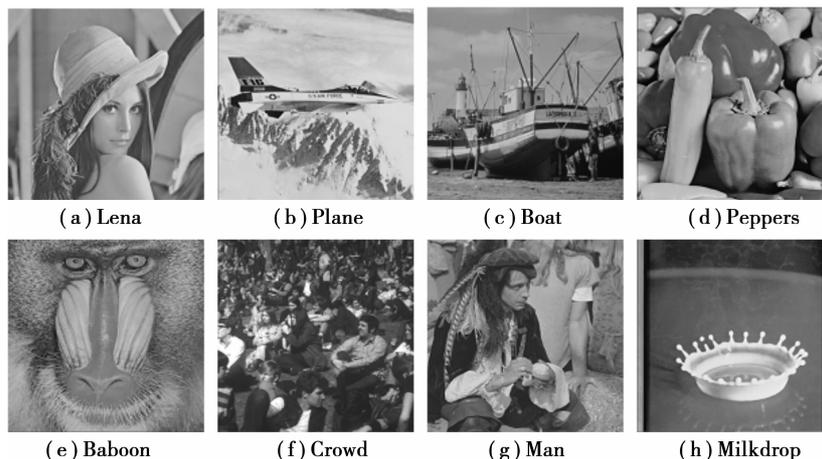


图 2 8 幅经典灰度测试图像

2.1 对角线像素差的单层实验结果

为了测试本算法的性能,首先做一个对角线方向像素差的单层嵌入实验。实验结果如表 1 所示,在保证图像质量 48 db 以上,图像的单层嵌入容量高达 0.15 bpp,从实验结果可以看出来,本算法的嵌入容量相对于参考文献[4]的 0.138,文献[16]的 0.089 等,具有较高的嵌入容量和较低的图像失真。

表 1 单层嵌入的实验结果

| 图像 | PSNR/db | 嵌入容量 | |
|----------|---------|--------|------|
| | | bits | bpp |
| Lena | 48.98 | 44 965 | 0.17 |
| Airplane | 49.28 | 53 796 | 0.21 |
| Boat | 49.01 | 45 800 | 0.17 |
| Peppers | 48.81 | 36 850 | 0.10 |
| Baboon | 48.40 | 15 233 | 0.06 |
| Crowd | 49.28 | 34 259 | 0.13 |
| Man | 48.87 | 34 337 | 0.13 |
| Milkdrop | 49.20 | 52 240 | 0.20 |
| 平均值 | 49.00 | 39 685 | 0.15 |

在表 1 中,峰值信噪比(peak signal to noise ratio, PSNR)是衡量图像质量的一个重要指标,一般来说,PSNR 值越高,说明隐秘图像的质量越好;反之,PSNR 值越低,隐秘图像质量越差。bits 表示总的嵌入比特数,在保证 PSNR 值一定的前提下,bits 的值越大越好,即嵌入容量越大越好。bpp 表示平均每个像素嵌入的比特数,bpp (bits per pixel)越大,表示单位像素的嵌入容量越大。对一幅图像嵌入隐藏信息,随着隐藏信息的不断嵌入,图像的 PSNR 值在逐步下降。理想的信息隐藏算法往往使图像质量保持在一定的标准下,进一步提升信息隐藏容量。但是,PSNR 值需要维持在一定的标准之上,当图像的 PSNR 值低于 30 db,图像质量具有较大的失真,易于

被人眼发现,即图像的 PSNR 值需要维持在 30 db 以上。由表 1 可知,针对 8 幅不同的经典测试图像,给出单层嵌入后的实验结果。

2.2 多层嵌入的实验结果

由于测试图像进行一层嵌入后,图像的 PSNR 值还是很高的,因此考虑进行多层嵌入。经过多次实验可知,本文算法在经过 12 层隐藏信息嵌入之后,PSNR 值仍然大于 30 db,图像没有明显的降质。从实验结果可知,本文算法在保证图像的 PSNR 值大于 30 db 时,其嵌入容量高达 1 bpp。本文算法的嵌入容量相对于参考文献[4]的 0.96,文献[18]的 0.91 和文献[21]的 0.98 等,具有较高的嵌入容量,而且图像本身的质量也满足要求。

表 2 嵌入 12 层后的实验结果

| 图像 | PSNR/db | 嵌入容量 | |
|----------|---------|---------|------|
| | | bits | bpp |
| Lena | 30.51 | 291 803 | 1.11 |
| Airplane | 31.19 | 322 612 | 1.23 |
| Boat | 30.48 | 275 649 | 1.05 |
| Peppers | 30.03 | 219 678 | 0.84 |
| Baboon | 29.46 | 127 799 | 0.49 |
| Crowd | 30.95 | 278 582 | 1.06 |
| Man | 30.29 | 246 793 | 0.94 |
| Milkdrop | 31.18 | 338 345 | 1.29 |
| 平均值 | 30.51 | 262 657 | 1.00 |

由表 2 可知,针对 8 幅不同的经典测试图像,给出 12 层嵌入后的实验结果。在保证图像质量(PSNR)维持在 30 db 以上,计算出图像的嵌入容量 bits 以及 bpp。

2.3 与其他常用算法的比较

为了进一步验证本算法的性能,实验中采用 Lena 和 Baboon 图像作为载体图像,与其他公开发表的常用算法进行比较,如表 3 所示。实验中主要对信息隐藏的两个主要参数嵌入容量(bits)和峰值性噪比(PSNR)进行对比。为了明显地对比算法的性能好坏,引入 PSNR/bits 的参数,该参数值越小,代表算法性能越好。

表 3 本算法与其他典型算法的性能比较

| 算法 | Lena(512×512) | | | Baboon(512×512) | | |
|------------------------------|---------------|---------|------------------------|-----------------|---------|------------------------|
| | 嵌入容量/bits | PSNR/db | PSNR/bits(10^{-4}) | 嵌入容量/bits | PSNR/db | PSNR/bits(10^{-4}) |
| Tian ^[10] | 125 865 | 31.68 | 2.517 | 95 958 | 30.25 | 3.152 |
| Kamstra ^[15] | 135 547 | 35.20 | 2.597 | 103 653 | 30.12 | 2.906 |
| Chang et al. ^[20] | 206 480 | 30.49 | 1.477 | 105 690 | 30.21 | 2.858 |
| Thodi et al. ^[14] | 213 783 | 30.48 | 1.426 | 104 569 | 30.41 | 2.908 |
| 李卓 ^[18] | 254 947 | 31.20 | 1.224 | 108 545 | 30.22 | 2.784 |
| 曾宪庭等 ^[4] | 279 692 | 30.82 | 1.102 | 116 699 | 29.86 | 2.559 |
| Zeng et al. ^[21] | 283 807 | 30.35 | 1.069 | 111 295 | 30.07 | 2.702 |
| 本文算法 | 291 803 | 30.51 | 1.045 | 127 799 | 29.46 | 2.305 |

由表 3 可知,当图像质量 PSNR 值一定时,嵌入容量 bits 越大,PSNR/bits 越小,即算法的嵌入性能越好。本文算法在保证图像质量(PSNR)维持在 30 db 以上的前提下,嵌入容量 bits 相对于其他 7 种算法相比具有显著的提高。而 PSNR/bits 值相对于其他的 7 种算法相比是最小的,即在保证图像的 PSNR 值一定的前提下,该算法的嵌入容量更高。表 3 针对 Lena 图像以及 Baboon 图像,与其他算法的 PSNR、bits 以及 PSNR/bits 值进行了对比,由实验结果可知,本文算法在保证 PSNR 值维持在 30 db 以上,拥有更高的嵌入容量。

3 结 论

充分利用了图像对角线方向上像素的相关性,提出了 LDHA_RT 算法。算法分别采用列方向上、行方向上以及对角线方向上进行像素差直方图移位产生冗余空间,从而进行 12 层隐藏信息的嵌入。由实验结果可知,算法在保证一定图像质量的前提下,具有较大的隐藏容量。另外,在提取隐藏信息以及恢复原始载体图像的过程中,不需要除隐藏信息之外的其他辅助信息。

参考文献:

- [1] 韩杰思, 汤光明, 马晓煜. 基于图像的信息隐藏安全性分析[J]. 微型计算机信息, 2006, 22(3): 19-21.
HAN Jiesi, TANG Guangming, MA Xiaoyu. The security analysis based on images information hiding [J]. Control & Automation, 2006, 22(3): 19-21.
- [2] 奚吉, 梁瑞宇. 可逆信息隐藏算法综述[J]. 信息化研究, 2011, 37(3): 1-3.
XI Ji, LIANG Ruiyu. Overview of reversible information hiding algorithms[J]. Informatization Research, 2011, 37(3): 1-3.
- [3] 杨玉琴. 可逆数据隐藏技术综述[J]. 无线互联科技, 2012, 7:77.
YANG Yuqin. Overview of reversible data hiding techniques [J]. Wireless Internet Technology, 2012, 7:77.
- [4] 曾宪庭, 李卓, 平玲娣. 基于块参照像素的无损信息隐藏算法[J]. 计算机科学, 2012, 39(2): 47-51.
ZENG Xianting, LI Zhuo, PING Lingdi. Reversible data hiding based on reference pixel of block[J]. Computer Science, 2012, 39(2): 47-51.
- [5] Honsinger C W, Jones P W, Rabbani M, et al. Lossless recovery of an original image containing embedded data: U. S. Patent 6 278 791[P]. 2001-8-21.
- [6] Macq B. Lossless multiresolution transform for image authenticating watermarking[C]// Proceedings of EUSIPCO, 2000: 533-536.
- [7] Fridrich J, Goljan M, Du R. Lossless data embedding-new paradigm in digital watermarking[J]. EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 1990, 2002(2): 185-196.
- [8] Goljan M, Fridrich J J, Du R. Distortion-free data embedding for images[C]//Information Hiding. Springer Berlin Heidelberg, 2001, 21(37): 27-41.
- [9] Celik M U, Sharma G, Tekalp A M, et al. Lossless generalized-LSB data embedding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(2): 253-266.
- [10] Tian J. Reversible data embedding using a difference expansion[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(8): 890-896.
- [11] Alattar A M. Reversible watermark using the difference expansion of a generalized integer transform[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(8): 1147-1156.
- [12] Alattar A M. Reversible watermark using the difference expansion of quads[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. Montreal Canada, 2004, 3(2): 377-380.
- [13] Alattar A M. Reversible watermark using the difference expansion of triplets[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing. Catalonia, Spain, Sept, 2003,1(1): 501-504.
- [14] Thodi D M, Rodríguez J J. Expansion embedding techniques for reversible watermarking[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16(3): 721-730.
- [15] Kamstra L, HHejijmans J A M. Reversible data embedding into images using wavelet techniques and sorting [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(12): 2082-2090.
- [16] Ni Z, Shi Y Q, Ansari N, et al. Reversible data hiding[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2006, 16(3): 354-362.
- [17] Van Leest A, Van der Veen M, Bruickers F. Reversible image watermarking [C]. Barcelona, Spain; Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing, 2003: 731-734.
- [18] 李卓. 图像信息隐藏与隐写分析算法的研究 [D]. 浙江:浙江大学,2010.
- [19] Xuan G, Zhu J, Chen J, et al. Distortionless data hiding based on integer wavelet transform[J]. Electronics Letters, 2002, 38(25): 1646-1648.
- [20] Chang C C, Tai W L, Chen K N. Lossless data hiding based on histogram modification for image authentication[J]. Proceedings of 2008 IEEE/IFIP International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing, 2008(1): 506-511.
- [21] Zeng X, Ping L, Li Z. A reversible data hiding scheme using center pixel difference[J]. Journal of Multimedia, 2010, 5(4): 377-384.