

基于相邻像素的可逆大容量信息隐藏算法

张显全¹, 谢绍敏¹, 王晓云², 俞春强¹

(1. 广西师范大学计算机科学系 广西 桂林 541004; 2. 长江师范学院数学与计算机学院 重庆 涪陵 408100)

【摘要】将载体图像按照不同的扫描方式转换为不同的一维序列, 通过计算一维序列前后两个元素的差值, 再统计出该差值序列中频率出现最多的两个值, 计算不同扫描方式中这两个值出现的总次数。选择总次数最大的扫描方式生成的一维序列中进行信息隐藏, 在频率最大的两个数据中隐藏信息。实验结果表明, 该算法隐藏容量大, 载体图像的峰值信噪比高。

关键词 差值; 大容量; 相邻; 峰值信噪比; 可逆

中图分类号 TP391.41

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2012.04.002

High-Capacity Reversible Data Hiding Based on Neighboring Pixels

ZHANG Xian-quan¹, XIE Shao-min¹, WANG Xiao-yun², and YU Chun-qiang¹

(1. Department of Computer Science, Guangxi Normal University Guilin Guangxi 541004;

2. College of Mathematics & Computer Science, Yangtze Normal University Fuling Chongqing 408100)

Abstract A high-capacity reversible data hiding algorithm based on neighboring pixels is proposed in this paper. Cover image is first converted into one dimensional (1D) sequence by different scan patterns. The difference values between each two neighbor elements in the 1D sequence are calculated and the two difference values with biggest frequencies are distinguished. For each scan pattern, the occurrence number of the two difference values is achieved. The scan pattern with the biggest occurrence number is used for data hiding, where the two difference values with biggest frequencies are exploited to embed secret messages. Experimental results show that the proposed algorithm has large embedding capacity and high PSNR value.

Key words difference-value; high-capacity; neighboring pixels; peak signal to noise ratio; reversible

随着信息技术的发展, 信息安全问题日益突出, 人们在未授权的情况下可以在网络上获得各种信息, 这对一些重要的秘密信息构成了重大威胁。信息隐藏技术的出现有效地提高了信息安全性, 但是在医学、军事、法律等特殊领域中, 接收方希望在提取秘密信息的同时无损地恢复原始载体图像, 为了解决这一问题, 无损信息隐藏技术应运而生。

目前, 大量学者对无损信息隐藏进行了研究。文献[1]通过计算相邻像素的整数差值和均值, 将信息嵌入到差值的最低位中, 实现了基于扩大差值的无损大容量水印嵌入, 但由于其嵌入和提取算法不对称, 使得算法计算量大, 实现复杂。文献[2]提出一种用于数字图像的可逆信息隐藏算法, 根据小波细节系数的统计特性, 通过细微修改整数小波系数来嵌入数据, 在保证载体图像低失真的前提下提高了隐藏容量。文献[3]通过找出载体图像直方图的零

点或极小值点, 并对这些点作一些小改动来嵌入数据, 实现了较大容量无损信息隐藏, 且具有良好的不可见性, 可适应多种类型的载体对象。文献[4]根据相邻像素的相关性, 提出一种基于差值扩展的无损信息隐藏算法, 增加了隐藏容量, 得到了较好的隐藏效果。该算法不仅适用于灰度载体图像, 也适用于彩色载体图像。文献[5]提出了基于边缘预测和差值扩张的大容量可逆信息隐藏算法, 该算法应用JPEG-LS像素预测和可逆差值扩张, 提高了嵌入容量和载体图像的不可见性。文献[6]提出了基于预测改进的大容量可逆信息隐藏方法, 即采用正交投影技术估计线性预测的最优权重。该方法不仅提高了预测的准确度, 而且增大了嵌入容量。文献[7]提出了基于有序半色调的可逆信息隐藏算法, 该算法应用图象的特征将有序半色调分解成最大个数的子图像对, 然后通过交换子图像的操作隐藏数据, 保证

收稿日期: 2012-05-15

基金项目: 国家自然科学基金(60963008); 广西自然科学基金(2011GXNSFD018026, 0832104, 2012GXNSFBA053166); 广西科学研究与技术开发计划项目(10123005-8); 重庆市教委研究项目(KJ121310); 广西教育厅项目(200911MS55); 广西研究生教育创新计划项目(2010106020812M62)

作者简介: 张显全(1964-), 男, 教授, 主要从事图像处理方面的研究。

了载体图像的较好视觉质量。文献[8]提出了基于相邻两像素差值的无损信息隐藏,若相邻像素差值为0,则修改它们的灰度值嵌入数据;若不为0,则同样作修改,但不嵌入数据。文献[9]提出基于相邻像素可逆大容量信息隐藏算法,统计任意相邻像素的差值中出现频率最高值及出现频率为0的值,利用这两个值嵌入数据。虽然这些算法都取得了比较好的隐藏效果,但是隐藏的容量较小。

本文根据相邻像素的关系,设计一种可逆的大容量信息隐藏算法。该算法首先使用3种不同的扫描方式将二维载体图像转换成一维序列,然后统计出一维序列数据出现频率,确定隐藏信息最多的扫描方式,在差值数据出现频率最高的两个数据中嵌入数据,嵌入数据时还可以控制嵌入信息的位数。该算法实现了可逆的信息隐藏,同时提高了嵌入容量,而且具有较高的信噪比。

1 数据的嵌入

在数字图像的平滑区域内,其相邻像素的差值一般都比较小,所以其相邻像素差值中的某几个值的出现频率比较大。因此可以统计出现频率最高的两个差值,然后在这两个值当中嵌入数据。

1.1 确定扫描方式

设载体图像的大小为 $m_1 \times n_1$, $l = m_1 \times n_1$ 。本文采用的载体图像扫描方式分别为行扫描方式、列扫描方式及L扫描方式,如图1所示。

1) 行扫描方式:按从上到下的顺序进行行扫描。奇数行采用从左到右顺序扫描,偶数行采用从右到左顺序扫描。扫描完载体图像的所有行,将载体图像按行连接成一维序列,简称为行扫描方式,如图1b所示,得到的一维序列为 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_l\}$ 。

2) 列扫描方式:按从左到右的顺序进行列扫描,奇数列采用从上到下的顺序扫描,偶数列采用从下到上的顺序扫描,扫描完载体图像的所有列,将载体图像按列连接成一维序列,简称为列扫描方式,如图1c所示,得到的一维序列为 $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_l\}$ 。

3) L扫描方式:按照从左上角到右下角的顺序进行扫描。第一次扫描只有一个像素,即第一行第一列的像素点,以后的每次扫描都按左上角到右下角的顺序根据左上右下对角线像素的下标来扫描载体图像。设对角线像素的下标为 (j, k) ,偶数次扫描时先扫描第 j 行第1到 k 列的像素,再扫描第 k 列第 $(j-1)$ 到1行的像素;奇数次扫描时则相反,先扫描第 k 列第1到 j 行的像素,再扫描第 j 行第 $(k-1)$ 到第1列的像

素。如图1d所示,得到的一维序列为 $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_l\}$ 。

以图1a作为载体图像的二维矩阵图,则由图1b~1c的3种扫描方式得到的一维序列分别为:
 $X = \{162, 162, 162, 163, 164, 164, 160, 160, 163\}$,
 $Y = \{162, 164, 160, 160, 164, 162, 162, 163, 163\}$
 和 $Z = \{162, 164, 164, 162, 162, 163, 163, 160, 160\}$ 。

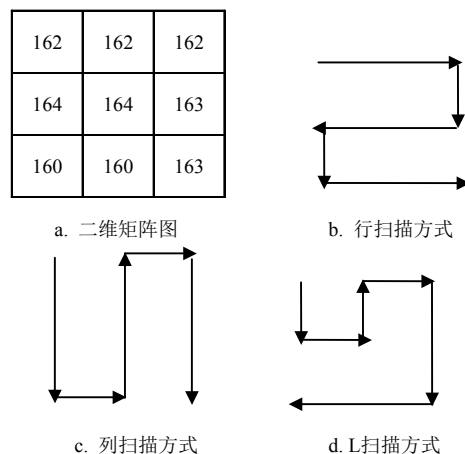


图1 将载体图像转换为一维序列的3种方式

$$\text{令 } x'_i = \begin{cases} x_i & i=1 \\ x_{i-1} - x_i & i=2,3,\dots,l \end{cases}, \text{ 得到 } X \text{ 的差}$$

值序列 $\{x'_1, x'_2, \dots, x'_l\}$, 令 $X' = \{x'_1, x'_2, \dots, x'_l\}$, 统计 X' 序列中出现频率最高的两个值分别记为 x'_{s_1} 和 x'_{m_1} ($x'_{s_1} < x'_{m_1}$), x'_{s_1} 和 x'_{m_1} 出现的总次数记为 r_1 。同理得到 Y 的差值序列为 $Y' = \{y'_1, y'_2, \dots, y'_l\}$, 在序列 Y' 中出现频率最高的两个值分别为 y'_{s_2} 和 y'_{m_2} ($y'_{s_2} < y'_{m_2}$), y'_{s_2} 和 y'_{m_2} 出现的总次数记为 r_2 ; Z 的差值序列为 $Z' = \{z'_1, z'_2, \dots, z'_l\}$, 在序列 Z' 中出现频率最高的两个值分别为 z'_{s_3} 和 z'_{m_3} ($z'_{s_3} < z'_{m_3}$), z'_{s_3} 和 z'_{m_3} 出现的总次数记为 r_3 。

本文算法先找出当前频率最高的两个差值,然后在差值序列中出现这两差值的位置嵌入数据。由此可见,出现频率最高的两差值出现的总次数越多,那么算法的隐藏容量就越大。因此,可根据出现频率最高的两个差值的总次数来决定载体图像的最终扫描方式。

令 $f=1$ 表示采用行扫描的方式, $f=2$ 表示采用列扫描的方式, $f=3$ 表示采用L扫描的方式。令:

$$r = \max(r_1, r_2, r_3)$$

若 $r_1=r$,则说明行扫描方式得到的差值序列中出现频率最高的两差值出现的总次数最多,因此选择行扫描方式作为载体图像的最终扫描方式,令 $f=1$;

若 $r_2=r$,则说明列扫描方式得到的差值序列中出

现频率最高的两差值出现的总次数最多, 因此选择列扫描方式作为载体图像的最终扫描方式, 令 $f=2$;

若 $r_3=r$, 则说明L扫描方式得到的差值序列中出现频率最高的两差值出现的总次数最多, 因此选择L扫描方式作为载体图像的最终扫描方式, 令 $f=3$ 。

最终得到载体图像的一维序列和其差值序列。

1.2 数据嵌入

设 P 为载体图像最终扫描方式的一维序列, $P' = \{p'_1, p'_2, \dots, p'_l\}$ 为 P 的差值序列, P' 中出现频率最大的两个值分别为 s 和 m ($s < m$), 设嵌入信息为 w , 则用 $s-w$ 或 $m+w$ 为隐藏信息。若在 s 或 m 中嵌入信息的位数为 d , 令 $g=2^d-1$, 在 s 或 m 中嵌入数据后, 其值会落在 $[s-g, s]$ 或 $[m, m+g]$ 范围内, 所以为了保证能正确地提取出秘密信息, 对 P' 中小于 s 的值都减去 g , 保证其值不在 $[s-g, s]$ 范围内; 对 P' 中大于 m 的都加上 g , 保证其值不在 $[m, m+g]$ 范围内。

设 P' 隐藏信息后的值为 $Q' = \{q'_1, q'_2, \dots, q'_l\}$, 令 $q'_i = p'_i$, 则具体的嵌入方法如下:

若 $p'_i < s$, 则不隐藏信息, 令 $q'_i = p'_i - g$, 使得 q'_i 不在 $[s-g, s]$ 范围内;

若 $p'_i > m$, 则不隐藏信息, 令 $q'_i = p'_i + g$, 使得 q'_i 不在 $[m, m+g]$ 范围内;

若 $s < p'_i < m$, 则不作任何修改, 令 $q'_i = p'_i$;

若 $p'_i = s$, 则取出 d 位秘密信息转换为十进制得到 w , 令 $q'_i = s-w$ 完成 d 位信息的嵌入;

若 $p'_i = m$, 则取出 d 位秘密信息转换为十进制得到 w , 令 $q'_i = m+w$ 完成 d 位信息的嵌入。

1.3 获得载密图像

根据隐藏信息的方法, 设载密图像为 $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_l\}$, 即用原始载体图像的一维序列减去嵌入信息后的差值序列, 令 $q_i = \begin{cases} p_i & i=1 \\ p_{i-1} - q'_i & i=2, 3, \dots, l \end{cases}$, 可得到载密图像的一维序列 Q , 最后根据 f 值按照载体图像的扫描方式将一维序列 Q 转换为 $m_1 \times n_1$ 维矩阵, 即载密图像。最后将 f 、 s 、 m 和 d 作为密钥信息进行传送。

1.4 溢出处理

由信息嵌入方法可知, 对载体图像每个像素点的改变量在 $-(2^d-1)$ 到 (2^d-1) 范围内, 所以当像素值小于等于 (2^d-1) 时可能会出现向下溢出, 而当像素值大于等于 $256-(2^d-1)$ 时可能会出现向上溢出, 此外隐藏信息后有些像素值改变也会在该范围内溢出, 因此要对这些特殊像素点进行标志。先对没改

变前的像素点进行判断, 若在溢出范围内, 则不隐藏数据, 并标志为溢出点; 再对改变后的像素点进行判断, 若在溢出范围内, 则标志为非溢出点; 否则不作任何标志。因要保证载密图像的不可见性, 所以 d 取值不宜过大, 而对一般的载体图像, 其像素值很少接近极大或极小值, 因此处于溢出范围内的点是极少数的, 因而可以通过密钥的方式对溢出的像素的标记进行传送。

2 数据的提取

根据密钥信息(即 f 、 s 、 m 和 d 的值)和溢出标记, 由隐藏信息的过程可以设计出提取算法从载密图像中提取出秘密信息, 并无损地还原载体图像。

2.1 无损还原载体图像

对非溢出像素, 根据 f 值得到扫描方式, 由扫描方式可得到载密图像的一维序列 $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_l\}$ 。设载体图像一维序列为 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_l\}$, P 的差值序列为 $P' = \{p'_1, p'_2, \dots, p'_l\}$, 则由此可知 $p_i = p_{i-1} - p'_i$ ($i=2, 3, \dots, l$)。设嵌入秘密信息后的差值序列为 $Q' = \{q'_1, q'_2, \dots, q'_l\}$, 则由载密图像的获取过程可得 $q_i = p_{i-1} - q'_i$, 而由嵌入信息的过程可知 Q' 又是由 P' 根据其值所在的范围及秘密信息修改得到的, 因此可以找出嵌入过程中 Q' 与 P' 的关系, 然后由 Q 推导得到 Q' 和 P 。方法如下:

1) 当 $i=1$ 时, 因在整个信息的嵌入过程中, 所有一维序列的第一个元素都是保持不变的, 因此 $q'_1 = q_1$, $p_1 = q_1$ 。

2) 当 $i \neq 1$ 时, 则 $q'_i = p_{i-1} - q_i$, 令 $g=2^d-1$ 。

若 $q'_i < s-g$, 则由嵌入过程可知 $q'_i = p'_i - g$,

由 $\begin{cases} q'_i = p'_i - g \\ p_i = p_{i-1} - p'_i \end{cases}$ 可得: $p_i = q_i - g$, 因此可通过 q_i 计算出 p_i 的值。

若 $q'_i > m+g$, 则有 $q'_i = p'_i + g$, 从而由 $p_i = q_i + g$ 可计算出 p_i 的值;

若 $s-g \leq q'_i \leq s$, 则有 $q'_i = p'_i - (s - q'_i)$, 而 $p_i = q_i - (s - q'_i)$, 可计算得 p_i 的值;

若 $m \leq q'_i \leq m+g$, 则有 $q'_i = p'_i + (q'_i - m)$, 由 $p_i = q_i + (q'_i - m)$ 行算出 p_i 的值;

若 $s < q'_i < m$, 则 $q'_i = p'_i$;

在得到原始载体图像的一维序列 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_l\}$ 后, 便可根据 f 值选择扫描方式, 依据载密图像的大小对 P 进行扫描转换为二维矩阵, 即可得原始载体图像。

2.2 提取秘密信息

设嵌入秘密信息后的差值序列 $Q' = \{q'_1, q'_2, \dots, q'_l\}$, 对非溢出象素, 根据在差值序列中嵌入信息的过程便可提取出秘密信息, 方法如下:

若 $s-g \leq q'_i \leq s$ ($i=2, 3, \dots, l$), 则令 $w = s - q'_i$, 将 w 转换为 d 位二进制, 即提取得到的秘密信息;

若 $m \leq q'_i \leq m+g$ ($i=2, 3, \dots, l$), 则令 $w = q'_i - m$, 将 w 转换为 d 位二进制, 即提取得到的秘密信息。

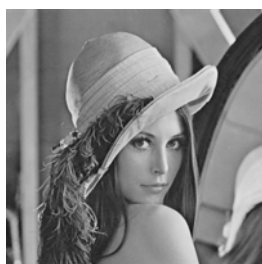
3 实验结果

用本文算法进行大量的实验, 均取得很好效果, 可实现较大容量的信息隐藏, 在提取数据时能保证

载体图像的无损恢复。下面以 lena.bmp、boats.bmp、peppers.bmp 和 man.bmp 其 4 幅 512×512 的灰度图像为载体图像进行说明。图 2~4 给出了 d 取不同值时的载密图像, 表 1 给出了 d 取 1、2 和 3 时的峰值信噪比和隐藏容量, 并给出了与文献[9]的对比结果。由实验结果可知, 本文算法在提高容量的同时保证了载密图像的良好不可见性。在 $d=1$ 时本文算法比文献[9]算法隐藏容量有大而且峰值信噪比高; 当 $d=2$ 或 3 时, 虽然峰值信噪比有所下降, 但是隐藏容量大大的增加。由此可见, 本文算法与文献[9]算法相比, 增加了隐藏容量, 提高了峰值信噪比。

表1 不同载体图像的峰值信噪比(PSNR)及算法的隐藏容量

载体图像	文献[9]		本文算法 $d=1$		本文算法 $d=2$		本文算法 $d=3$	
	PSNR	隐藏容量	PSNR	隐藏容量	PSNR	隐藏容量	PSNR	隐藏容量
lena.bmp	48.566 4	43 554	48.655 5	52 496	39.205 7	104 992	31.897 1	157 488
boats.bmp	48.639 6	51 086	48.724 8	59 609	39.299 5	119 218	31.997 5	178 827
pepper.bmp	48.813 6	68 468	48.891 0	72 014	39.495 5	143 888	32.245 5	213 906
man.bmp	48.603 5	47 408	48.656 7	51 971	39.198 5	103 942	31.889 3	155 913



a. lena.bmp



b. boats.bmp



c. peppers.bmp



d. man.bmp

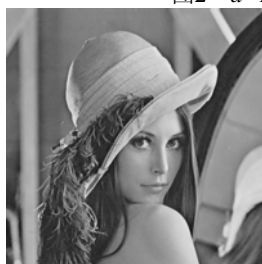


c. peppers.bmp



d. man.bmp

图2 $d=1$ 时的载密图像



a. lena.bmp



b. boats.bmp



a. lena.bmp



b. boats.bmp

图3 $d=2$ 时的载密图像



c. peppers.bmp



d. man.bmp

图4 $d=3$ 时的载密图像

4 结束语

与现有的基于相邻像素的大容量信息隐藏算法相比, 本文根据相邻像素的特点采用了3种不同的扫描方法, 最后选择嵌入信息容量最大的扫描方式, 既提高了隐藏容量又保证了载密图像的不可见性。此外, 本文在载体数据中隐藏多个信息位的方法, 可以根据需要选择嵌入位数, 若需隐藏信息容量大, 则可以适当提高嵌入的位数从而提高隐藏容量; 反之可以选择每次只嵌入一位信息提高载密图像的质量。大量的实验结果表明, 本文算法实现了大容量的可逆信息隐藏, 保证隐藏信息的正确提取同时能无损地恢复载体图像。

本文研究工作得到涪陵区科技计划项目(FLKJ2012ABA1056)的资助, 在此表示感谢。

参 考 文 献

- [1] TIAN Jun. Reversible data embedding using a difference expansion[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2003, 13(8): 890-896.
- [2] LIANG Xiao-ping, WU Xiao-yun, HUANG Ji-wu. Reversible data hiding for image based on histogram modification of wavelet coefficients[J]. *Lecture Notes in Computer Science*, 2005, 3802: 573-580.
- [3] NI Zhi-cheng, SHI Yun-qing, ANSARI N, et al. Reversible data hiding[J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2006, 16(3): 354-362.
- [4] CHANGA CHIN-CHEN, LUB TZU-CHUEN. A difference expansion oriented data hiding scheme for restoring the original host images[J]. *Journal of Systems and Software*, 2006, 79(12): 1754-1766.
- [5] WU HSIEN-CHU, LEE CHIH-CHIANG, TSAI CHWEI-SHYONG, et al. A high capacity reversible data hiding scheme with edge prediction and difference expansion[J]. *Journal of Systems and Software*, 2009, 82(12): 1966-1973.
- [6] HONG WIEN, CHEN TUNG-SHOU, CHANG YU-PING, et al. A high capacity reversible data hiding scheme using orthogonal projection and prediction error modification[J]. *Signal Processing*, 2010, 90(11): 2911-2922.
- [7] BRIAN K L, LIN YEN-Ming. High-capacity reversible data hiding by maximum-span pairing[J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2011, 52(2): 499-511.
- [8] 任洪斌, 常春武, 张健. 基于相邻两像素差值的无损数据隐藏算法[J]. *计算机工程与设计*, 2009, 30(16): 3897-3899.
REN Hong-e, CHANG Chun-wu, ZHANG Jian. Lossless data hiding scheme based on difference between two adjacent pixels[J]. *Computer Engineering and Design*, 2009, 30(16): 3897-3899.
- [9] LI YU-CHIANG, YEH CHIA-MING, CHANG CHIN-CHEN. Data hiding based on the similarity between neighboring pixels with reversibility[J]. *Digital Signal Processing*, 2010, 20(4): 1116-1128.

编辑 蒋 晓