

# 基于相邻像素相似性的可逆信息隐藏算法\*

## Reversible Information Hiding Algorithm based on the Adjacent Pixels Similarity

莫丽燕<sup>1</sup>, 张显全<sup>1\*\*</sup>, 王晓云<sup>2</sup>

MO Li-yan<sup>1</sup>, ZHANG Xian-quan<sup>1</sup>, WANG Xiao-yun<sup>2</sup>

(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 408100)

(1. Department of Computer Science, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi, 541004, China; 2. College of Mathematics & Computer Science, Yangtze Normal University, Chongqing, 408100, China)

**摘要:** 在基于相邻两像素差值的无损数据隐藏算法的基础上, 提出基于相邻像素相似性的可逆信息隐藏算法, 并进行实例验证。该算法用希尔伯特曲线扫描载体图像得到载体图像一维序列, 先从第一个像素开始将序列分成不相交的包含两个像素的连续组, 选择组元素相等的组嵌入信息, 其它组作一定的修改以避免数据的重叠, 然后从修改后序列的第二个像素开始分组进行同样的操作。该算法隐藏容量大, 具有较好的视觉效果。

**关键词:** 信息隐藏 可逆 希尔伯特曲线

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2013)01-0007-04

**Abstract:** According to the adjacent pixels similarity, a reversible information hiding scheme is proposed, which is based on the lossless data hiding scheme of two adjacent pixels difference and proved through many examples. Hilbert curve is adopted to scan the cover image to get one dimensional sequence that is divided into a series of disjoint pixel-groups with beginning from the first pixel. Each group consists of two pixels. The groups with two equal pixels are selected to embed data whereas the pixels in other groups are modified to avoid data overlapping. And then the same operations are done with beginning from the second pixel of the modified sequence. The proposed scheme achieves high capacity and makes stego-images good visual quality.

**Key words:** information hiding, reversible, Hilbert curve

随着现代科学技术的高速发展, 信息安全隐患日益突出, 破坏信息安全的手段也不断出现, 这对一些重要的保密通讯构成了极大的威胁, 信息隐藏技术的为解决这些问题提供了一种有效的方式。当前

可逆信息隐藏技术是研究的热点, 具有重要的理论意义和应用价值。可逆信息隐藏技术是指在嵌入秘密信息时, 如果含秘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提取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。在可逆信息隐藏技术研究方面已经有很多的研究的成果<sup>[1~10]</sup>。Honsinger等<sup>[1]</sup>首次提出一种无损数据隐藏算法, 然而, 这种算法得到的载密图像质量不高, 存在椒盐噪声视觉效果。Vleeschouwer等<sup>[2]</sup>用拼接算法和圆形直方图来解决噪声问题, 虽然此算法可以产生高质量 JPEG 压缩图像, 但是它的嵌入容量是非常

收稿日期: 2012-11-28

作者简介: 莫丽燕(1986-), 女, 硕士研究生, 主要从事图像处理研究。

\* 广西自然科学基金项目(2011GXNSFD018026, 2012GXNSFB053166, 0832104); 广西科学研究与技术开发计划项目(10123005 - 8); 重庆市教委科技项目(KJ121310); 涪陵区科技计划项目(FLKJ, 2012ABA1056); 广西教育厅项目(200911MS55)资助。

\*\* 通讯作者: 张显全(1964-), 男, 教授, 主要从事图像处理研究。

有限的。文献[10]提出一种基于相邻两像素差值的无损数据隐藏算法。该算法先将载体图像划分为水平不重叠的连续组,每组包含两个相邻的像素,如果该组两像素的差值为0则隐藏数据,并修改像素的灰度值,如果该组两像素的灰度值不相等,则只修改灰度值不隐藏数据。本文在文献[10]的基础上,提出一种基于相邻像素相似性的可逆信息隐藏算法,利用数字图像相邻像素间的相关性,并结合嵌入容量及视觉效果等多方面考虑因素进行两层信息嵌入。为了提高嵌入容量,在满足条件的每个分组中进行两位信息的嵌入;为了提高峰值信噪比,在实现第一层与第二层信息嵌入的时候对两像素值不相等的分组进行不同修改,以达到修改量尽可能小的目的。实验结果显示,该算法是一种有效可行的大容量可逆信息隐藏算法。

## 1 信息的嵌入

由于数字图像平滑区域内,相邻像素相等或者很接近,故相等相邻像素出现的频率是比较大的,所以可以利用这个特征进行嵌入信息。我们将载体图像进行希尔伯特曲线扫描得到一维序列,然后将序列分成不相交的连续组,每组包含两个像素,选择组元素相等的组嵌入数据,为了提高嵌入容量,每组嵌入两位信息,因此嵌入的信息的位数就等于组元素相等的组个数的两倍,同时为了提高不可见性,第一和第二层嵌入时,在组元素不相等的情况下,第一层往增大的方向修改组元素,而第二层往减小的方向修改组元素,以缓冲第一层修改量,修改后的序列即为载密图像一维序列,再根据希尔伯特曲线扫描方式将其转换为二维矩阵,即载密图像。

由于希尔伯特曲线能够遍历到相等相邻像素较多,所以我们用希尔伯特曲线扫描载体图像。设载体图像大小为  $M * N$ , 则  $l = M * N$ , 得到载体图像一维序列  $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_l\}$ 。

第一层嵌入从  $p_1$  开始将序列  $P$  分成不相交的连续组,每组包含两个相邻像素  $a$  和  $b$ , 则有  $l_1 = \lfloor l/2 \rfloor$  组。如果  $a = b$ , 则嵌入 2 位信息, 否则不嵌入信息。设将要进行隐藏的信息位为  $s_j, s_k$ , 则具体嵌入方法如下:

当  $a > b$  时, 不嵌入信息,  $b$  不改变, 令  $a = a + 1$ , 使  $a$  与  $b$  的差值大于等于 2;

当  $a < b$  时, 不嵌入信息,  $a$  不改变, 令  $b = b + 2$ , 使  $a$  与  $b$  的差值小于等于 -3;

当  $a = b$  时, 嵌入两位信息。如果  $s_j = 1 \& \& s_k = 1$ , 令

$$\begin{cases} a = a - s_j \\ b = b + s_k \end{cases}, \text{ 否则 } \begin{cases} a = a - s_j \\ b = b - s_k \end{cases} \text{ 实现信息嵌入。}$$

由于只选择组元素相等的组嵌入信息, 并使嵌入信息后的组元素间的差值集中在尽可能小的范围内, 而组元素不等的组则只进行一定的修改, 使其差值不在嵌入信息后的组所在范围内, 故信息可以无损恢复。

设  $P$  修改后的值为  $P' = \{p'_1, p'_2, p'_3, \dots, p'_l\}$ 。第二层嵌入从  $p'_2$  开始将序列  $P'$  分成不相交的连续组, 每组包含两个相邻像素  $a$  和  $b$ , 则总有  $l_2 = \lfloor (l-1)/2 \rfloor$  组。如果  $a = b$ , 则嵌入 2 位信息, 否则只修改  $a, b$  的值但不嵌入信息, 具体嵌入方法如下:

当  $a > b$  时, 不嵌入信息,  $a$  不改变, 令  $b = b - 1$ , 使  $a$  与  $b$  的差值大于等于 2;

当  $a < b$  时, 不嵌入信息,  $b$  不改变, 令  $a = a - 2$ , 使  $a$  与  $b$  的差值小于等于 -3;

当  $a = b$  时, 嵌入两位信息。如果  $s_j = 1 \& \& s_k = 1$ , 令

$$\begin{cases} a = a - s_j \\ b = b + s_k \end{cases}, \text{ 否则 } \begin{cases} a = a - s_j \\ b = b - s_k \end{cases} \text{ 实现信息嵌入。}$$

由于第一层嵌入时在  $a, b$  不相等的情况下, 将  $a, b$  的值增大对每组元素进行修改, 而第二层嵌入时把  $a, b$  的值减小对每组元素进行修改, 能在一定程度上减小修改量。第二层嵌入思想与第一层相同, 所以信息也能无损恢复。设  $P'$  修改后的值为  $Q = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_l\}$ , 按照载体图像的扫描方式将一维序列  $Q$  转换为  $M * N$  的矩阵, 即载密图像。

在进行每层嵌入前都要判断是否会产生溢出。由信息嵌入方法可知, 如果任意组中有任何一个像素值在  $[0, 1]$  范围内则可能出现向下溢出, 而如果在  $[254, 255]$  范围内则可能出现向上溢出, 那么在嵌入过程中这组像素将不作任何修改, 只需将此组第一个像素的下标记录在数组  $L_1$  和  $L_2$  (第一层  $L_1$ , 第二层  $L_2$ ) 中。对一般的载体图像而言, 接近极大或极小值的像素值是极少的, 因此处于溢出范围内的点是极少数的, 故而可以通过密钥的方式对溢出像素的标记信息进行传送。

## 2 信息的提取及载体图像恢复

根据溢出标记, 由隐藏信息的过程设计出提取

算法,从载密图像中精确地提取秘密信息,并无损地还原载体图像。

用与扫描载体图像相同的方式扫描载密图像,得到载密图像的一维序列  $Q = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_l\}$ , 设载体图像一维序列为  $P = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_l\}$ , 进行第二层提取与修改后的序列为  $P' = \{p'_1, p'_2, p'_3, \dots, p'_l\}$ , 将要提取出来的信息为  $s_j, s_k$ 。首先进行第二层的提取与还原,再进行第一层的提取与恢复便可得到原载体图像。对于溢出像素,因不隐藏数据,没有作任何修改,故  $p'_i = q_i, p_j = p'_j$ 。对于非溢出像素进行第二层信息提取与载体图像恢复,从  $q_2$  开始将序列  $Q$  分成不相交连续组,每组包含两个相邻像素  $a$  和  $b$ , 令  $c = a - b$ 。

如果  $c \geq 2$ , 则  $a$  不改变, 令  $b = b + 1$ ;

如果  $c \leq -3$ , 则  $b$  不改变, 令  $a = a + 2$ ;

如果  $c = 0$ , 则  $a, b$  不作修改, 令  $s_j = 0, s_k = 0$  实现信息的提取;

如果  $c = 1$ , 则  $a$  不改变, 修改  $b$  使  $b = b + 1$ , 令  $s_j = 0, s_k = 1$  实现信息的提取;

如果  $c = -1$ , 则  $b$  不改变, 修改  $a$  使  $a = a + 1$ , 令  $s_j = 1, s_k = 0$  实现信息的提取;

如果  $c = -2$ , 则同时修改  $a$  和  $b$ , 使得  $a = a + 1, b = b - 1$ , 令  $s_j = 1, s_k = 1$  实现信息的提取。

设  $Q$  修改后的值为  $P' = \{p'_1, p'_2, p'_3, \dots, p'_l\}$ , 然后进行第一层的提取与恢复。从  $p'_1$  开始将序列  $P'$  分成不相交连续组, 每组包含两个相邻像素  $a$  和  $b$ , 令  $c = a - b$ 。

如果  $c \geq 2$ , 则  $b$  不改变, 令  $a = a - 1$ ;

如果  $c \leq -3$ , 则  $a$  不改变, 令  $b = b - 2$ ;

如果  $c = 0$ , 则  $a, b$  不作修改, 令  $s_j = 0, s_k = 0$  实现信息的提取;

如果  $c = 1$ , 则  $a$  不改变, 修改  $b$  使  $b = b + 1$ , 令  $s_j = 0, s_k = 1$  实现信息的提取;

如果  $c = -1$ , 则  $b$  不改变, 修改  $a$  使  $a = a + 1$ , 令  $s_j = 1, s_k = 0$  实现信息的提取;

如果  $c = -2$ , 则同时修改  $a$  和  $b$  使得  $a = a + 1, b = b - 1$ , 令  $s_j = 1, s_k = 1$  实现信息的提取;

进行上述的操作后便可以得到载体图像一维序列  $P$ , 根据扫描方式及载密图像的大小对  $P$  进行扫描转换为二维矩阵, 即原始载体图像。

### 3 实际算例

图 1 是当载体为不同图像时的载密图像, 对应的隐藏容量和峰值信噪比见表 1。从图 1 可以看出

本文算法在实现较大容量嵌入的同时能取得较好的视觉效果。表 1 结果也显示, 本文算法可以保持较高的信噪比。表 2 结果表明, 与文献[9]和文献[10]相比本文算法嵌入容量得到了成倍的提高。

表 1 不同载体图像上的峰值信噪比 (PSNR) 及隐藏容量

Lena. bmp		boats. bmp		couple. bmp		lax. bmp	
PSNR	嵌入容量	PSNR	嵌入容量	PSNR	嵌入容量	PSNR	嵌入容量
45.9316	46362	45.8734	50962	46.2091	39118	45.9780	18242



图 1 载密图像

(a) Lena. bmp; (b) boats. bmp; (c) couple. bmp; (d) lax. bmp

表 2 不同算法在不同载体图像上的隐藏容量比较

载体图像	隐藏容量		
	文献[9]	文献[10]	本文算法
Lena. bmp	21648	27990	46362
boats. bmp	23509	27061	50962
couple. bmp	18705	19076	39118
lax. bmp	8950	10646	18242

由此可见, 本文算法在增加隐藏容量的同时也做了尽可能提高峰值信噪比, 是一种有效可行的大容量可逆信息隐藏算法。这里只给出采用 4 幅  $512 \times 512$  大小的测试图像 (lena. bmp, boats. bmp, couple. bmp, lax. bmp) 作为载体图像的实例, 其余的实验也取得较好的效果, 在此不一一例举。

参考文献:

- [1] Honsinger C W, Jones P, Rabbani M, et al. Lossless recovery of an original image containing embedded data [J]. US Patent Application, 2001, 27(6): 87-91.
- [2] Vleeschouwer C De, Delaigle J F, Macq B. Circular interpretation of bijective transformations in lossless watermarking for media asset management [J]. IEEE Trans Multimedia, 2003, 5(1): 97-105.
- [3] Ni Z, Shi Y Q, Ansari N, et al. Reversible data hiding [J]. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 2006, 16(3): 354-362.
- [4] Tian J. Reversible data embedding using a difference expansion [J]. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 2003, 13(8): 890-896.

- [5] 高铁杠,顾巧论.一种大容量的图像可逆信息隐藏算法[J].光电子·激光,2008,19(5):663-666.
- [6] 李耿,熊志勇.基于动态峰值的图像可逆水印算法[J].武汉理工大学学报,2010,32(7):160-163.
- [7] 赵彦涛,李志全,董宇青.基于排序和直方图修改的可逆信息隐藏方法[J].光电子·激光,2010,21(1):102-106.
- [8] Tsai Piyu, Hu Yuchen, Yeh Hsiulien. Reversible image hiding scheme using predictive coding and histogram shifting[J]. Signal Processing, 2009, 89: 1129-1143.
- [9] Hong Wien, Chen Tungshou, Chang Yuping. A high capacity reversible data hiding scheme using orthogonal projection and prediction error modification[J]. Signal Processing, 2010, 90: 2911-2922.
- [10] 任洪娥,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):3897-3902.

(责任编辑:尹 闯)

(上接第6页)

较大幅度提高工作效率.算法的时间消耗主要在步骤4,最坏的情况是每条规则可能需要反复执行多次,但是一般来讲,经过属性约简后的决策规则条件属性的个数不会太多,所以每条规则在这一步骤反复执行的次数一般不会太多.另外,由于本算法每条规则的任意一种情况都已考虑,所以获取的约简规则是完备的,又由于算法对每条规则都化简到最简的程度,因此,所得的约简规则也是最优的.而且无论弃掉条件属性的顺序如何,最终得到的规则都是最简和最优的值约简结果.

参考文献:

- [1] 徐章艳.基于粗糙集的属性约简及其算法研究[D].北京:北京科技大学,2007:1-10.
- [2] 罗来鹏,刘二根,王广超.基于矩阵的最简决策规则获取[J].计算机工程,2008,34(19):41-43.
- [3] 顾军华,周艳聪,宋洁,等.一种新的求解属性值约简算法[J].南开大学学报:自然科学版,2003,36(4):38-42.
- [4] 徐凤生.一种属性与值约简及规则提取算法[J].计算机工程与科学,2008,30(2):61-63.
- [5] 鄂旭,邵良彬,杨芳,等.一种基于可辨识向量的规则提取算法[J].辽宁工程技术大学学报,2010,29(5):777-790.
- [6] 林晓彬,叶东毅.一种基于扩展差别矩阵的规则获取方法[J].计算机科学,2008,35(3):231-233.
- [7] 鄂旭,邵良彬,张毅智,等.一种基于粗糙集理论的规则提取算法[J].计算机科学,2011,38(1):232-235.

(责任编辑:尹 闯)