

基于二值图像的信息隐藏算法

刘九芬, 付 磊, 张卫明

(解放军信息工程大学信息工程学院, 郑州 450002)

摘 要: 针对二值图像修改痕迹明显的特点, 提出一种失真较小的二值图像信息隐藏算法。给出翻转点选择标准, 定义二值图像所有适合翻转的像素点集合。考虑视觉特性, 提出可翻转像素点修改得分的计算方法, 设定可翻转点选取的门槛值, 将含有可修改像素点的图像块视为隐藏消息的载体块。对二值图像进行分块, 利用 STC 编码, 在载体块序列中选择一条信息嵌入的最佳修改路径, 实现信息的嵌入。实验结果表明, 该隐藏算法能够减小载密图像的失真度, 提高视觉隐蔽性, 保持二值图像中 L 型的方差统计特性, 抵抗相关的隐写检测。

关键词: 二值图像; 信息隐藏; 隐写编码; 图像失真; 可修改得分

Information Hiding Algorithm Based on Binary Image

LIU Jiu-fen, FU Lei, ZHANG Wei-ming

(Institute of Information Engineering, PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China)

【Abstract】 This paper presents a new information hiding algorithm used for binary image with a small distortion, aiming at the feature that the changing trace is obvious in binary image. The selection criteria of turning point is presented and the set of pixels suitable for turning is denoted. Considering the visual features, the method for computing the scores of the turning pixels is presented. An image block containing the turning pixel can be viewed as a cover block containing the hidden data after the threshold of choosing the turning point is set up. The binary image is divided into blocks, and the STC(Syndrome-trellis Codes) encoding is used to choose the optimal path in the sequence of cover blocks for hiding message. Experimental results show that the proposed algorithm can reduce the distortion of the cover image, and the stego image has good visual effect, while the statistical properties of the variance of L-type in a binary image can be maintained. Therefore, it can be effective against the related steganalysis.

【Key words】 binary image; information hiding; steganographic coding; image distortion; flippable score

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.18.040

1 概述

二值图像即黑白图像具有存储简单、结构紧凑的独特优势, 是一种应用非常广泛的图像。随着全球信息数字化进程的日益加快, 很多重要的文本资料, 如个人档案、医疗记录、手写签名、馆藏图书等都被扫描成数字化文档, 以二值图像的方式存储。这些二值图像资料的价值高、作用大, 因此, 在其中隐藏保护性信息尤为重要。目前, 灰度图像和彩色图像的信息隐藏技术层出不穷, 但是针对二值图像的信息隐藏算法却相对较少。因为灰度图像和彩色图像的像素值取值范围较大, 而二值图像只有 0 和 1 这 2 个像素值, 所以灰度图像或彩色图像中之有效的信息隐藏方法不能直接用于二值图像, 必须研究针对二值图像的信息隐藏方法。

文献[1]将载体图像分块, 通过对每个图像块的修改实现信息的隐藏。文献[2]提出了一个翻转点选择标准, 在置乱后的载体图像块中选择可翻转性最高的像素点进行修改。在文献[3]的方法中, 消息提取者能找出嵌入信息的位置, 通过加密原始图像作为认证信息, 抵抗篡改攻击。文献[4]用视觉最小失真的衡量方法, 选择可以用作翻转的特殊点类, 利用汉明编码实现信息的嵌入。

本文提出一种二值图像隐藏算法。该算法提出翻转点选择标准, 利用 STC(Syndrome Trellis Codes)编码实现信息的嵌入。

2 二值图像信息隐藏算法

2.1 翻转点选择标准

在二值图像中, “0” 代表黑色像素点, “1” 代表白色像

素点, 对这 2 种反差极大的色调做直接修改很容易引起视觉异常。因此, 在信息嵌入时不能孤立地考虑一个像素, 必须考虑翻转该像素点对其邻域的影响情况。根据人眼的视觉特性, 人眼对水平和垂直方向的敏感程度大于对角线方向, 因此, 翻转点应该选择在人眼视觉不敏感的边缘区域, 即黑白像素点的交界处。如图 1 所示, 中心像素点为 p_c , 其 3×3 邻域中 8 个相邻像素点分别记为 p_i , 其中, $1 \leq i \leq 8$ 。在中心像素点 p_c 翻转前后, 水平和垂直方向上的 3 个像素点 p_1 、 p_c 、 p_5 和 p_3 、 p_c 、 p_7 均不同色, 此时认为该中心像素点 p_c 处在黑白像素的交界区域, 作为信息隐藏过程中的可翻转点。

p_2	p_3	p_4
p_1	p_c	p_5
p_8	p_7	p_6

图 1 3×3 邻域内的像素点分布

2.2 像素点的可修改得分计算

可修改点的翻转应该不产生新的孤立点, 也不会打破其

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60803155)

作者简介: 刘九芬(1979—), 女, 副教授, 主研方向: 小波理论及其应用, 信息隐藏; 付 磊, 硕士研究生; 张卫明, 讲师、博士

收稿日期: 2011-02-16 **E-mail:** jiufenliu@163.com

邻域内像素点间的连通性。因此,根据像素点翻转前后的视觉连通性,计算出每个可翻转点的修改得分并用该得分表示像素点的修改优先级。在消息嵌入过程中,如果载体块需要作出修改,选择修改得分最高的像素点作为翻转点。

如图 2(a)所示,除中心点外,对角线方向上像素点同色,其中,阴影区域代表不需要关注的像素点。该中心像素点的翻转会造成对角线方向上点连通性的破坏,影响视觉的隐蔽性,因此,希望对角线方向上除中心点外的像素点不同色。图 2(b)与图 2(c)中对角线方向的像素点均不同色,但是图 2(b)翻转前后的视觉不可见性明显比图 2(c)差,后者是二值图像中最佳的可翻转像素点,该图像模式被称为 L 型。通过观察可以得出以下的结论:在图 2(b)中右下角和左上角的黑点和白点破坏了 2 个角落连通性,造成了视觉上孤立的效果。因此,如果存在由 3 个白点或黑点构成的角,修改后图像的视觉失真小,这是评价可翻转点修改得分的重要条件。

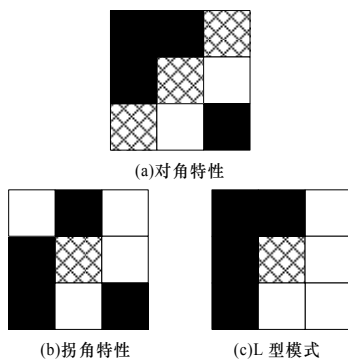


图 2 中心像素点为可翻转点的 3 种图像模式

综上所述,本文提出可翻转点修改得分 S 的计算标准。

(1)分别判断对角线和反对角线方向上除中心点外的像素点是否同色,此标准可以用式(1)和式(2)中的 N_d 和 N_a 的取值来判断:如果 p_2 模 2 值不为 0,说明 p_c 在对角方向上除中心点外的像素点不同色,中心像素点的修改得分 S 加 1,否则, S 保持不变。类似地,反对角线方向上的修改得分可以用 N_a 的取值判断。

$$N_d = p_2 + p_6 \quad (1)$$

$$N_a = p_4 + p_8 \quad (2)$$

(2)考察在 3×3 区域内是否存在分别由黑色和白色像素点构成的拐角。如果 N_b (N_w) 值不为 0,说明存在黑(白)色的拐角,中心像素点的修改得分 S 加 1。

$$N_w = \sum \bar{p}_k \cdot \bar{p}_{k+1} \cdot \bar{p}_{k+2}, k=1,3,5,7 \quad (3)$$

$$N_b = \sum p_k \cdot p_{k+1} \cdot p_{k+2}, k=1,3,5,7 \quad (4)$$

其中,“ $\cdot$ ”表示“逻辑与”运算;“ $\bar{p}$ ”表示逻辑“非 p ”运算,当 $k > 8$ 时, $k \equiv k \bmod 8$ 。

(3)判断中心像素点的翻转是否会造成黑点、白点集合个数的改变。若 p_c 点翻转后不会造成黑点、白点集合个数的改变,修改得分 S 加 2。

通过以上 3 条评分准则可以计算出二值图像中可翻转像素点的修改得分。还可以根据待嵌信息的长度用修改得分 S 设定选择载体图像块的门限值,例如需要隐藏的消息较短时,可以选择一个分值较高的门限值,只有当图像块中存在修改得分不小于该门限值的可修改点时,该图像块才能看作载体块用于信息的嵌入,从而降低了图像的失真。

2.3 STC 编码

文献[5]提出了一种在给定载体中隐藏消息的隐写编码,

即 STC 编码算法。该算法在已知载体序列和序列中每个元素失真值的情况下,使消息嵌入后载体序列的平均失真最小化。假设载体向量为 x ,在 x 中嵌入消息后得到载密向量 y ,相应的失真向量为 r 。发送方则利用 Viterbi 算法找出由 x 到 y 修改失真最小的修改方式。接收方通过计算式(5)提取消息向量 m 。其中, H 是由接收双方特殊构造的二值矩阵,使式(5)有解。

$$Hy = m \quad (5)$$

下面用一个具体的例子解释如何在载体向量 x 上嵌入消息,奇偶校验矩阵 H 如式(6)所示:

$$H = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

当载体向量为 $x = \{1,0,1,1,0,0,0,1\}$ 、失真向量为 $r = \{1,1,1,1,1,1,1,1\}$,即载体元素的修改失真相等时,值均为 1。若待嵌的消息 $m = \{0,1,1,1\}$,利用 Viterbi 算法可以找到实现消息嵌入的载密向量 $y = \{0,0,1,1,1,0,0,1\}$,此时载体序列中 2 个元素发生了修改,图像的失真大小为 2,是对原始载体失真最小的修改方式。

2.4 隐藏算法

分块嵌入法是一种比较典型的二值图像隐藏方法,由于实现简单,因此相对于其他算法具有更强的实用性。该方法把图像分成若干大小相同互不重叠的图像块,通过对子块中的像素点按照某种规则进行修改,实现信息的嵌入。

分块嵌入时一般选择图像块中除边框外的内部像素点进行翻转,从而避免翻转造成图像块间的相互影响。选用有公共边的分块方式,即任意 2 个水平或者垂直相邻的图像块共用一条相邻的边框,图像分块数量会增加,从而可用的载体图像块的数量也会增加。

如果图像块中存在可修改点,即有可翻转的内部点,则该图像块被认为是可用载体块,否则,被认为是不可用块。在信息嵌入时,若载体块中像素值之和的奇偶性与待嵌信息比特一致,则不作修改,否则,翻转图像块中一个可修改点即可。

将嵌入过程与 STC 编码相结合,以减少整体失真。在二值图像中, x 、 y 和 r 均为二值序列,其中, x 和 y 序列的元素值分别用载体和载密图像中相应图像块像素值之和的奇偶性表示,“0”代表偶,“1”代表奇。同时利用图像块的可修改得分表示失真序列中的元素值。 r_i 表示序列中第 i 个元素值,若相应图像块的可修改得分为 S_i ,则用式(7)计算嵌入失真:

$$r_i = 7 - S_i \quad (7)$$

在二值图像中,所有的修改都会造成图像的视觉失真。本文方法中图像失真大小与像素点的可修改得分是相对应的,可翻转像素点的最高修改得分为 6 分,修改后的嵌入失真值为 1,而且随着翻转点可修改得分的减小,图像视觉失真值将相应增加。因此,嵌入失真值的大小能够反映不同像素点的修改对载密图像视觉失真产生的影响。

嵌入算法如下:

(1)利用翻转点选择标准,找出原始图像中的可翻转像素点。

(2)计算可翻转像素点的修改得分,设定选择可修改点的门限值。

(3)对载体图像分块,找出所有可用载体块。

(4)计算载体块像素值之和的奇偶性和嵌入失真,得到载体和失真序列。

(5)利用 STC 编码算法寻找载体图像的最佳修改路径,实现秘密信息的嵌入。

提取算法如下:

(1)利用翻转点选择标准找出载密图像中的可翻转像素点。

(2)计算所有可翻转像素点的修改得分。

(3)将载体图像分块,根据设定的修改点选择门限值,找出所有可用载体块。

(4)计算载体块像素值之和的奇偶性,得到载密序列。

(5)利用 STC 编码算法实现秘密信息的提取。

3 实验分析

将本文方法与文献[3]方法在嵌入容量、相同嵌入率条件下载密图像失真与抵抗隐写分析性能方面进行分析比较。

3.1 载体容量比较

实验中选取了中文文本图像和英文文本图像 2 种不同类型的载体图像。如图 3 和图 4 所示,中文文本图像大小为 400×300 像素,英文文本图像大小为 455×245 像素,嵌入过程中载体图像采用 5×5 像素大小的分块方式。对所有门限值情况下的载体块数量进行比较,从表 1(其中, S 为修改得分)中可以看出,随着门限值的提高,可嵌入容量递减。当门限值为 2 时,本文方法在 2 种类型载体图像上能够提供高于文献[3]方法的嵌入容量。

隐藏信息,其他块可以嵌入信息,在信息提取时也采用相同的策略,嵌入不同的信息量,为在盲提取时能准确的内容可能变为全“1”或全“0”造成提取信息时的误差,其他像素点来标示该块是否嵌入有信息及嵌入的信息,对可嵌入信息的子块,其嵌入策略为:当块内 4 个像素点中 3 个来嵌入隐藏信息,再修改剩下的那个像素点(数,当块内 4 个像素点中像素值为“0”的个数为奇数,修改剩下的 2 个像素点,使块中“0”的个数保持为 2,子块为一个黑点或小白点时,如果嵌入信息后各或大白点,修改后的块可能会引入比较明显的修改。

图 3 中文文本图像

the index table of the VQ-compressed image. Note that, an information hiding method with a large value of embedding rate means that the method can embed longer secret messages and vice versa. The ability to embed longer secret messages is the desirable property of steganographic systems because more secret information can be transmitted. Fig. 6 shows the embedding rate results of the simulated methods. In this simulation, the full index table was used for the proposed method. It can be seen that the proposed method achieves the best embedding rate, followed by Lin and Chang's method, and then Yang et al.'s method. The embedding rate of the proposed method and Lin and Chang's method are roughly double that of Yang et al.'s method. It is because the number of non-embeddable image blocks X 's in Yang et al.'s method is large.

图 4 英文文本图像

表 1 不同方法下的嵌入容量

嵌入方法	中文文本图像	英文文本图像
$S > 0$	2 727	2 470
$S > 1$	2 654	2 375
$S > 2$	2 576	2 320
$S > 3$	1 745	1 624
$S > 4$	911	431
$S > 5$	388	152
文献[3]方法	2 101	2 274

3.2 载密图像失真评价

二值图像隐藏算法不仅有嵌入容量上的要求,更希望减少信息嵌入造成的原始图像失真。翻转不同的像素点带来的视觉失真差别很大,希望将对二值图像的修改集中在小失真

的最佳修改位置。当门限值为 2 时,结合式(7)的二值图像失真计算方法,对中文和英文文本图像在不同嵌入量下的载密图像失真进行度量。

图 5 和图 6 反映了 2 种方法在图像失真量上的差异,失真分值直接反映了图像失真情况,载密图像的失真越小,分值越大。通过比较得出结论,在相同嵌入率条件下,本文方法对载体图像不仅修改较少,载密图像整体失真小很多,而且修改点位置的可翻转性高,能够保证局部视觉效果好,不会出现大失真点,因此,载密图像有很好的视觉不可见性。

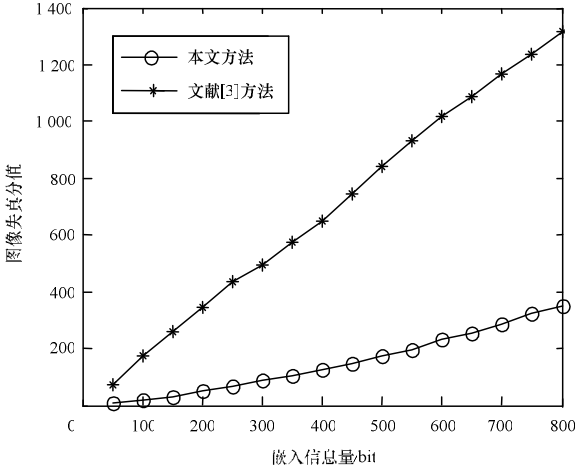


图 5 中文文本图像嵌入失真比较

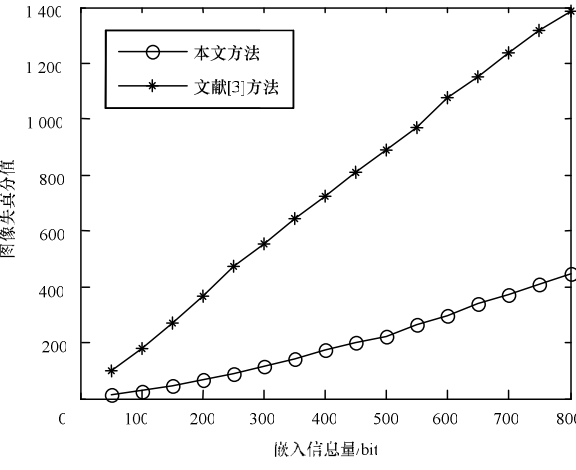


图 6 英文文本图像嵌入失真比较

3.3 抵抗隐写分析的能力

文献[6]提出一种二值图像隐写分析方法。L 型图像块是二值图像中修改相对集中的图像模式,并且 L 型经过翻转之后仍然属于 L 型,只是形式发生了改变。对于载体图像, L 型 16 种模式的数量分布近似服从广义高斯分布,峰值特性明显,然而对于载密图像,峰值特征变弱。该检测方法通过计算载密图像中 L 型的方差值与经验阈值进行比较,判断目标图像中是否隐藏了秘密信息。

本文对 2 种方法在不同嵌入量下的 L 型方差值进行统计,从实验中可以发现,本文方法中 L 型方差值以原始图像的方差值为中心小幅波动,随着嵌入量的增大,方差值依然近似于原始图像方差值。因此,检测者无法有效利用方差值上的差异对目标图像中是否隐藏了秘密信息进行区分。而文献[3]方法中 L 型方差值与原始图像的方差值有一定的偏差,并且随着嵌入量的增加,偏差值越来越大。

(下转第 126 页)