

# 基于整数线性变换的无损隐秘传输方法

谢于明 程义民 汪云路 田源

(中国科学技术大学电子科学与技术系, 合肥 230027)

**摘要** 为了对图像进行无损隐秘传输,给出了一种新的基于整数线性变换处理的无损隐秘传输方法。该方法是用整数线性变换后的矢量替换原宿主矢量,其不需保存可修改矢量区域信息,就可较好地嵌入大数据量的机密信息在公共信道进行传输,而且在接收端提取机密信息后,能无损恢复原宿主图像。该方法已经过了测试,并获得了较好的结果,适用于医学图像中存储病人的病历信息及遥感、军事图像的信息隐秘传输等领域。

**关键词** 变换 嵌入/提取 无损 隐秘传输

**中图分类号**: TP309 TN918.74 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)09-1562-06

## Lossless Covert Communication Method Based on Integer Linear Transform

XIE Yu-ming, CHENG Yi-min, WANG Yun-lu, TIAN Yuan

(Department of Electronic Science & Technology, University of Science & Technology of China, Hefei 230027)

**Abstract** In order to realize lossless covert communication in image, a novel lossless covert communication method based on integer linear transform was proposed. The method uses integer linear transformed vector instead of original vector and need not to save the message of the revisable vector. Using the method the host data with large capacity secret information embedded can be transmitted in open channels. Host image can be recovered without any distortion from the marked image after the hidden data have been extracted. The scheme had been simulated and good experimental results were achieved. It can be applied to keeping case history in medical images and can also be used for covert communication in remote sensing images, military images and etc.

**Keywords** transform, embedding&extracting, lossless, covert communication

## 1 引言

随着数字技术、网络多媒体和通信技术的迅速发展和应用,信息安全越来越得到人们的重视。信息隐藏技术广泛应用于知识产权保护<sup>[1]</sup>、多媒体信息的认证及隐秘传输<sup>[2-5]</sup>等信息安全领域。目前,大多数信息隐藏的方法在提取出所嵌入的数据后,原宿主信息不能无损恢复,而在一些要求较高的医学诊断、军事图像和遥感图像处理及法律认证等领域,则往往需要精确地恢复原宿主图像。为此很多

学者已开展了大量研究。

2003年, Ni等人给出了一种基于图像直方图调整的无损数据嵌入方法<sup>[6]</sup>; Tian给出了一种图像中的大容量无损信息隐藏方法<sup>[7]</sup>。2005年, Celik等人给出了一种广义LSB(least significance bit)无损信息隐藏算法<sup>[8]</sup>。近年来的无损信息隐藏方法都是通过对可修改矢量区域进行无损压缩后再和机密信息一起嵌入,以便提取机密信息后能无损恢复原宿主信息。但是无损压缩后的可修改矢量区域信息量越大,机密信息的可嵌入容量会越小。

针对上述问题,本文利用数字图像中相邻像点

收稿日期:2006-01-09; 改回日期:2006-07-24

第一作者简介:谢于明(1979-),男,2003年获中国科学技术大学学士学位,现为中国科学技术大学电子科学与技术系硕博连读博士研究生。主要研究领域为信息隐藏、网络多媒体信息处理。E-mail: ymxie@mail.ustc.edu.cn

之间的相近性(即邻近像点的像素值一般较为接近),提出了一种新的基于整数线性变换处理的无损隐秘传输方法。由于该方法用变换后的矢量替换原宿主矢量,且不需保存可修改矢量的区域信息,因此在保持宿主图像较好质量的条件下,可嵌入较大数据量的机密信息;在提取出所嵌入信息后,原宿主图像可通过变换算法无失真地恢复。本文提出的方法已通过测试,由于可嵌入的数据量较大,且隐蔽性较好,人眼不易觉察,因此可较好地在医院局域网内的医学图像中用于存储病人的个人信息和病历信息,而且便于医学图像管理,以及可用于机密信息的隐秘传输等领域。

### 2 方法概述

图1给出了将机密信息隐藏在图像中隐秘传输发送端的数据嵌入部分框图,该方法通过预处理把大小为  $M \times N$  的图像分为预留区域  $R$  和准备嵌入区域  $A$ (见4.1节嵌入步骤1)。嵌入数据时,先对准备嵌入区域  $A$  进行分块,子块大小为  $n = r \times c$  的相邻图像像素组成  $n$  维矢量  $s$ ; 然后对每一矢量  $s$  按照第3节算法进行线性变换,并将宿主矢量分成  $s \in E, s \notin E$  两类,其中  $E$  为可修改矢量集合。设定一组序列  $M$ , 如果  $s \in E$  时,则用“1”表示,否则为“0”。这样  $M$  就为  $\lceil \frac{M \times N}{n+1} \rceil$  bit 的二值序列记录了可嵌入数据子图像块的位置信息。若将序列  $M$  的信息嵌入到预留区域像素的最低位,则预留区域  $R$  的 LSB 信息和待隐藏数据就组合成数据流,经伪随机化后,即可进行数据嵌入。

在接收端,先将接收到藏有机密信息的图像进行分块;然后只用提取出的嵌入位置信息,按照第4.2节中的提取/恢复算法,就可提取机密信息和恢复原宿主图像信息。

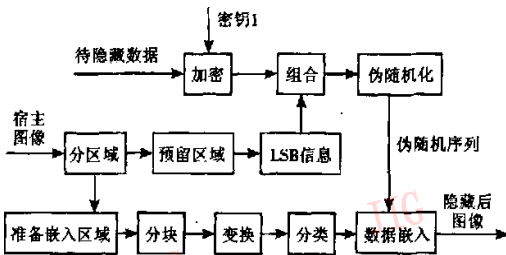


图1 数据嵌入框图

Fig.1 Block diagram of data embedding

### 3 整数线性变换算法

为了便于讨论,设图像分块后,相邻的  $n$  个像素可表示为  $n$  维矢量,即

$$s = (s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_{n-1}, s_n)$$

其中,  $s_i$  为整数,且  $0 \leq s_i \leq 255, 1 \leq i \leq n$ 。若对宿主矢量  $s$  中的每一元素  $s_i$  进行整数线性变换,则变换后的新元素为

$$\begin{cases} s_i^{new} = T_1(s_i) = s_i + n(s_i - \bar{s}) = (n+1)s_i - n\bar{s} \\ \bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n} \end{cases} \quad (1)$$

(1) 当  $s_i^{new} \notin [0, 255]$  时,则  $s \notin E$ , 其中  $E$  为可修改的矢量集合。

(2) 当  $s_i^{new} \in [0, 255]$  时,由

$$\begin{aligned} \bar{s}^{new} &= \frac{\sum_{i=1}^n s_i^{new}}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n [(n+1)s_i - n\bar{s}]}{n} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{n} + \sum_{i=1}^n s_i - n\bar{s} = \bar{s} \end{aligned}$$

可得到以下反变换公式:

$$s_i = \frac{s_i^{new} + n\bar{s}}{n+1} = \frac{s_i^{new} + n\bar{s}^{new}}{n+1} = T_2(s_i^{new}) \quad (2)$$

设

$$\begin{cases} s_i = T_3(s_i^{new}) = \lceil \frac{\bar{s}_i + n\bar{s}}{n+1} \rceil \\ \bar{s} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{s}_i}{n} \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $\lceil \cdot \rceil$  为向上取整,

$$(\bar{s}_i)_{(2)} = (s_i^{new})_{(2)} \& (254)_{(2)}, 1 \leq i \leq n$$

式中,  $(\cdot)_{(2)}$  表示与  $\cdot$  对应的8位二进制数,“&”表示位与运算,即  $\bar{s}_i$  表示  $s_i^{new}$  的 LSB 值置“0”后的值。

若  $n$  维矢量  $s^{new}$  中的每一元素  $s_i^{new} \in [0, 255]$ , 且有  $m$  个元素的 LSB 值为“1”,即矢量  $s^{new}$  中 LSB 值为“1”的  $m$  个元素组成了子集  $O_{s^{new}}$ , 则记为  $O_{s^{new}} = \{s_i^{new} \mid (s_i^{new})_{(2)} \& (1)_{(2)} = 1, i \in [1, n]\}$ ; LSB 值为“0”的  $(n-m)$  个元素组成了子集  $E_{s^{new}}$ , 则记为  $E_{s^{new}} = \{s_i^{new} \mid (s_i^{new})_{(2)} \& (1)_{(2)} = 0, i \in [1, n]\}$ 。

(1) 当  $s_i^{new} \in O_{s^{new}}$  时:

$$\begin{aligned}
 T_3(s_i^{new}) &= \left\lceil \frac{\bar{s}_i + n\bar{s}}{n+1} \right\rceil = \left\lceil \frac{(s_i^{new} - 1) + \sum_{i_1=1}^m (s_{i_1}^{new} - 1) + \sum_{i_0=1}^{n-m} s_{i_0}^{new}}{n+1} \right\rceil \\
 &= \left\lceil \frac{[(n+1)s_i - n\bar{s} - 1] + \sum_{i_1=1}^m [(n+1)s_{i_1} - n\bar{s} - 1] + \sum_{i_0=1}^{n-m} [(n+1)s_{i_0} - n\bar{s}]}{n+1} \right\rceil \\
 &= \left\lceil \frac{(n+1)s_i - (m+1)}{n+1} \right\rceil = \left\lceil s_i - \frac{m+1}{n+1} \right\rceil \tag{4}
 \end{aligned}$$

其中,  $\lceil \cdot \rceil$  为向上取整,  $s_{i_1}^{new}, s_{i_0}^{new}$  分别为  $s^{new}$  中第  $i$  个

元素  $s_i^{new}$  的 LSB 值为“1”, “0”。

(2) 当  $s_i^{new} \in E_{s^{new}}$  时:

因此  $m < n, s_i$  为整数时,  $\left\lceil s_i - \frac{m+1}{n+1} \right\rceil = s_i$ , 即式

$$\begin{aligned}
 T_3(s_i^{new}) &= \left\lceil \frac{\bar{s}_i + n\bar{s}}{n+1} \right\rceil = \left\lceil \frac{s_i^{new} + \sum_{i_1=1}^m (s_{i_1}^{new} - 1) + \sum_{i_0=1}^{n-m} s_{i_0}^{new}}{n+1} \right\rceil \\
 &= \left\lceil \frac{[(n+1)s_i - n\bar{s}] + \sum_{i_1=1}^m [(n+1)s_{i_1} - n\bar{s} - 1] + \sum_{i_0=1}^{n-m} [(n+1)s_{i_0} - n\bar{s}]}{n+1} \right\rceil \\
 &= \left\lceil \frac{(n+1)s_i - m}{n+1} \right\rceil = \left\lceil s_i - \frac{m}{n+1} \right\rceil \tag{5}
 \end{aligned}$$

其中,  $\lceil \cdot \rceil$  为向上取整,  $s_{i_1}^{new}, s_{i_0}^{new}$  分别为  $s^{new}$  中第  $i$  个元素  $s_i^{new}$  的 LSB 值为“1”, “0”。

因此当  $s_i$  为整数时,  $\left\lceil s_i - \frac{m}{n+1} \right\rceil = s_i$ , 即式(3)

成立。

综上所述可得:

当  $n$  维矢量  $s^{new}$  中存在元素  $s_i^{new} \notin [0, 255]$  时, 则  $s \notin E$ 。

当  $n$  维矢量  $s^{new}$  中每一元素  $s_i^{new} \in [0, 255]$ , 且  $m < n$  时,  $T_3(s_i^{new})$  可替代  $T_2(s_i^{new})$  变换求出  $n$  维矢量  $s$  的每个元素  $s_i$ , 则  $s$  为可修改矢量,  $s \in E$ 。因此可用  $T_2(s_i^{new})$  变换后的矢量替换原宿主矢量, 即不用原矢量元素的 LSB 信息, 就可在提取信息时用  $T_3(s_i^{new})$  计算出矢量  $s$  的每个元素  $s_i$ 。

当  $n$  维矢量  $s^{new}$  中每一元素  $s_i^{new} \in [0, 255], m = n$  时,  $s_i = \left\lceil s_i - \frac{m+1}{n+1} \right\rceil = \lceil s_i - 1 \rceil$ , 若  $T_3(s_i^{new})$  不能替代  $T_2(s_i^{new})$  得到  $n$  维矢量  $s$  的每个元素  $s_i$ , 则此时  $s \notin E$ 。

本文提出的整数线性变换算法较好地解决了以前无损隐藏方法需要先把可修改矢量区域信息无损压缩后, 再嵌入的问题, 这不仅降低了无损隐藏方法的复杂度, 还较好地提高了机密信息的可嵌入容量。

## 4 嵌入/提取方法

### 4.1 嵌入步骤

(1) 一幅大小为  $M \times N$  的原始宿主图像  $I$ , 先通过预处理把图像划分为预留区域  $R$  和准备嵌入区域  $A$ , 即当子块大小为  $n$  时, 预留区域  $R$  的大小为  $\left\lceil \frac{M \times N}{n+1} \right\rceil$ , 其中  $\lceil \cdot \rceil$  表示向上取整, 按照从左到右, 从上到下的扫描顺序, 将图像左上角的第 1 个像素到第  $\left\lceil \frac{M \times N}{n+1} \right\rceil$  个像素定义为预留区域  $R$ , 其他像素区域为准备嵌入区域  $A$ 。预留区域  $R$  中每一元素的 LSB 组成数据流  $L$ ; 然后对准备嵌入区域  $A$  进行分块, 其子块大小为  $n = r \times c$  的相邻图像像素组成  $n$  维矢量  $s$ 。

(2) 对每一  $n$  维矢量  $s$  中的每一元素按照式(1)进行变换得到  $\hat{s}^{new}$ , 再通过上述第 3 节方法求出集合  $E$ , 如果  $s \in E$  时, 则用“1”表示, 否则为“0”。先生成序列  $M$ , 序列  $M$  表示嵌入位置信息; 然后将序列  $M$  信息按奇偶调制法嵌入, 用于改变预留区域  $R$  中每一元素的 LSB 值。

(3) 如果将待隐藏机密数据流  $P$  经密钥  $k$ , 加密后得到  $\hat{P}$ , 则可由  $L, \hat{P}$  组合成数据流  $W$ , 再将其伪随机化后即得到伪随机序列  $\hat{W}$ 。

(4) 对位置信息为“1”的子块,用变换后的  $s^{inv}$  取代  $s$ ,并将数据流  $\hat{W}$  按奇偶调制法嵌入,用于改变该子块的每一元素的 LSB 值,即得嵌入信息后的图像  $\hat{i}$ 。

#### 4.2 提取/恢复步骤

(1) 在接收端,先通过上述相同的预处理计算,把图像  $\hat{i}$  分为预留区域  $\hat{R}$  和准备嵌入区域  $\hat{A}$ ;然后提取出预留区域  $\hat{R}$  中每一元素的 LSB,即得到序列  $M$ ;最后对准备嵌入区域  $\hat{A}$  进行分块,即得到每一  $n$  维矢量  $\vec{s}$ 。

(2) 利用序列  $M$  信息,可从藏有信息位置的矢量  $\vec{s}$  的每一元素的 LSB 值解调提取出  $\hat{W}$ ,反伪随机化后,即可得到隐藏信息序列  $W$ ,即  $L, \hat{P}$ 。

(3)  $\hat{P}$  解密后可得到隐藏的机密数据  $P$ 。

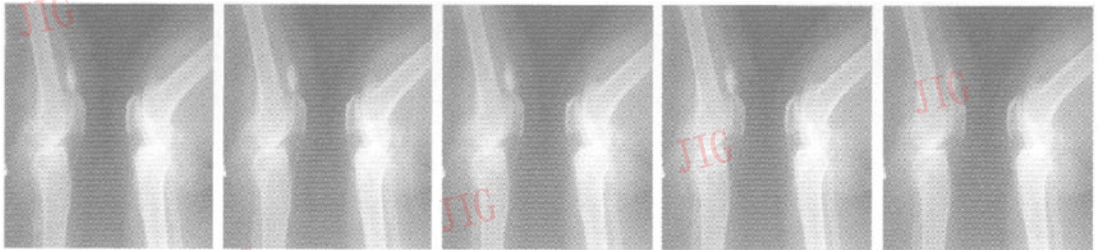
(4) 利用数据流  $L$  可恢复预留区域  $\hat{R}$  中的每一元素;对每一矢量  $\vec{s}$ ,设  $f \in M$ ,则当  $f = 1$  时,即可用式(3)恢复原矢量  $s$  中的每一元素;当  $f = 0$  时,矢

量  $\vec{s}$  中的每一元素保持不变,这样即完成了原宿主图像恢复。

### 5 实验及结果

为了验证上述方法的效果,对其进行了测试实验,实验工作平台为 Window XP 下的 Visual C++6.0 软件和 Matlab 软件。

图 2 给出了一幅大小为  $512 \times 512 \times 8$  的医学图像嵌入汉字信息的实验结果。图 2(b)和图 2(c)为选取子块参数  $n = 2 \times 2$  时,嵌入 6766 个汉字信息的实验结果,嵌入后图像的峰值信噪比 (peak signal noise ratio, PSNR) 值为 35.199dB。图 2(d)和图 2(e)为选取子块参数  $n = 3 \times 2$  时,嵌入 10124 个汉字信息的实验结果,嵌入后图像的峰值信噪比值为 30.449dB。实验中所嵌入的汉字和宿主图像均可无失真地提取、恢复。



(a) 512×512 原医学图像 (b) 参数  $n = 2 \times 2$  嵌入 6766 个汉字后的图像 (c) 图 2(b) 提取信息后恢复的图像 (d) 参数  $n = 3 \times 2$  嵌入 10124 个汉字后的图像 (e) 图 2(d) 提取信息后恢复的图像

图 2 医学图像嵌入汉字的实验结果

Fig. 2 Experimental results of embedding Chinese Characters in medical images

表 1 给出了一组医学图像嵌入汉字的实验统计结果。实验数据表明,文中提出的隐藏方法具以下优点:(1)该方法在嵌入较大数据量汉字信息的同时,还能保持较好的图像质量,即人眼不易分辨出隐藏信息前后图像的差异;(2)合法的图像使用者提取机密信息后,可无失真地恢复原宿主图像;(3)汉字信息经过加密后嵌入到图像中,攻击者一般较难获取所嵌入的机密信息。该方法用于医学图像数据库时,可在未增加数据库容量情况下,向医学图像中加入病历说明等更多信息,用于避免医学图像及相应病历混淆,以便于病人信息的管理和医生临床诊断。

表 2 给出了本文方法(子块参数  $n = 2 \times 2$ )与文献[9]~文献[12]方法在大小为  $512 \times 512 \times 8$  的宿主 Peppers 图像(如图 3 所示)中的嵌入容量和峰值

表 1 一组医学图像嵌入汉字实验结果

Tab. 1 Experimental results of embedding Chinese Characters in a group of medical images

图像	宿主数据大小 (kByte)	子块参数为 $n = 2 \times 2$ 时 嵌入数据量 (kByte)	子块参数为 $n = 2 \times 2$ 时 PSNR (dB)	子块参数为 $n = 3 \times 2$ 时 嵌入数据量 (kByte)	子块参数为 $n = 3 \times 2$ 时 PSNR (dB)
1	257	12.960	31.001	18.832	26.329
2	256	10.214	27.745	13.020	23.838
3	256	12.002	32.025	16.668	27.613
4	257	13.532	35.199	20.248	30.449
5	257	13.834	29.959	20.096	26.654

信噪比值的比较。实验结果的对比表明,本文方法在保持较好的图像质量条件下,可嵌入较大容量的秘密信息。

表 2 本文方法与其他嵌入方法在 Peppers 图像中的实验比较

Tab. 2 Comparison between other reversible marking methods [9] ~ [12] and our proposed method on image 'Peppers'

方法	Peppers (512 × 512 × 8)	
	嵌入容量 (bits)	嵌入信息后图像的 PSNR (dB)
文献[9]方法	1024	没有说明
文献[10]方法	1024	30
文献[11]方法	69 285	29.11
文献[12]方法	7 288	25.75
本文方法	80 000	30.812



图 3 宿主 Peppers 图像  
Fig. 3 Cover Image 'Peppers'

表 3 列举了本文方法(子块参数  $n=2 \times 2$ )与文献[8]~文献[11]方法在大小为  $512 \times 512 \times 8$  的不同内容宿主图像中的嵌入容量和峰值信噪比值的比较。由于不同隐藏方法的嵌入效果与宿主图像本身有密切关系,而本文提出的方法则主要利用了图像中相邻像素点间的相近性,因此对纹理少、较为平滑的宿主图像,它的可嵌入容量较大,隐藏信息后图像的峰值信噪比值较高。

表 3 本文方法与其他方法在不同内容图像中的实验比较

Tab. 3 Overall comparison between other reversible marking methods [8] ~ [11] and our proposed method

方法	嵌入容量 (kbits)	嵌入信息后图像的 PSNR (dB)
文献[9]方法	1.024	没有说明
文献[10]方法	小于 4.096	< 35
文献[11]方法	15 ~ 94	24 ~ 36
文献[8]方法	8.9 ~ 143	38
本文方法	80 ~ 160	28 ~ 41

图 4 给出了一幅大小为  $512 \times 512 \times 8$  的遥感图像嵌入机密图像的实验结果。图 4(b)和图 4(c)为选取子块参数  $n=2 \times 2$  时,嵌入大小为 12.852kByte 机密图像的实验结果,嵌入后图像峰值信噪比值为 26.213dB。实验中所嵌入的机密图像和宿主图像均可无失真地提取、恢复。图 4(d)为隐藏信息后图像受噪声影响(噪声密度=1%)的图像,图 4(e)为隐藏信息后受图像噪声(噪声密度=2%)影响的图像。

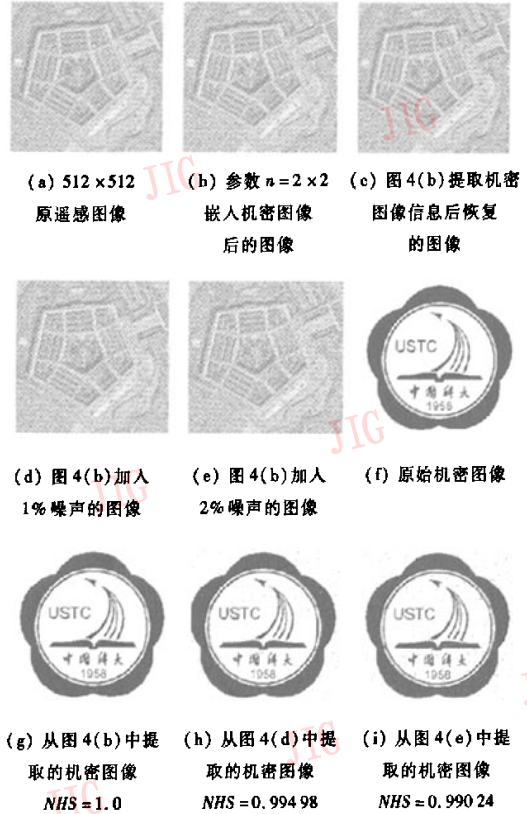


图 4 遥感图像嵌入机密图像的实验结果

Fig. 4 Experimental results of embedding secret image in remote-sensing images

为了客观地评估隐藏算法的鲁棒性,本文采用以下待隐藏图像  $W$  和提取出的机密图像  $\hat{W}$  之间的归一化汉明相似性<sup>[15]</sup>(normalized Hamming similarity, NHS)来度量图 4(g),图 4(h)和图 4(i)的相似程度:

$$NHS = 1 - \frac{D_{Hamming}(W, \hat{W})}{N_1 \times N_2}$$

其中,  $D_{Hamming}(\cdot, \cdot)$  代表两个二值序列的汉明距离,即为两序列间位值不同的个数,  $N_1 \times N_2$  为待隐

藏图像的大小。容易证明,  $NHS \in [0, 1]$ , 该值越大, 表示提取信息与嵌入信息越相似。

图4的实验结果表明, 嵌入机密图像后的遥感图像能保持较好的图像质量, 即人眼不易分辨出隐藏信息前后图像的差异, 而且在传输过程中, 如出现信息丢失或噪声影响, 仍能较好地提取出隐藏信息, 具有一定的鲁棒性。可见本文算法可较好地应用于遥感图像和军事图像等多媒体信息中隐秘传输机密信息。

盲检测统计分析攻击方法是一种适应广泛的攻击方法, 其中 Avcibas 等提出的基于图像质量评估的检测攻击方法<sup>[14]</sup>较为流行, 详见文献[14]。用文献[14]方法对本文及文献[8], [11]方法在大小为  $512 \times 512 \times 8$  的多幅相同宿主图像中嵌入容量为 48 kbits 秘密信息时, 进行了检测攻击实验。表4给出了统计分析攻击方法的实验统计结果。由表4可见, 在相同的嵌入容量下, 本文方法具有较低的正确检测率, 即不容易被检测。

表4 统计分析攻击方法下的实验比较

Tab.4 Comparison results of statistical analysis attacks

统计分析攻击	正确检测率(%)		
	本文方法	文献[11]方法	文献[8]方法
基于图像质量评估的盲检测方法 <sup>[14]</sup>	21	32	26

## 6 结论

本文方法较好地利用了数字图像相邻像点之间的相近性(即邻近像点的像素值一般较为接近), 提出了一种新的基于整数线性变换处理的无损隐藏方法。该方法可根据待隐藏信息的数据量大小, 选取图像子块大小参数  $n$ , 将满足  $s \in E$  的  $n$  维宿主矢量变换为  $s^{new}$  用于替代原宿主矢量, 且不需保存嵌入位置子块图像的修改信息, 即可嵌入大量待隐藏信息。该方法不仅有较好的隐蔽性, 而且提取机密信息后, 原宿主图像可以无损恢复。

该方法可用于医学图像、遥感图像等质量要求较高图像的信息隐藏及信息隐秘传输等。其中的无损信息隐藏方法也可用于以音频、视频等多媒体信息为宿主的信息隐藏。

## 参考文献 (References)

- 1 Ramkumar M, Akanu A N. Signaling methods for multimedia steganography[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2004, 52(4): 1100 ~ 1111.
- 2 De Vleeschouwer C, Delaigle J F, Macq B. Circular interpretation of bijective transformations in lossless watermarking for media asset management[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2003, 5(1): 97 ~ 105.
- 3 Takahashi A, Nishimura R, Suzuki Y. Multiple watermarks for stereo audio signals using phase-modulation techniques [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(2): 806 ~ 815.
- 4 Tian Yuan, Cheng Yi-min, Wang Yi-xiao. A novel method of data hiding[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(9): 1444 ~ 1447. [田源, 程义民, 王以孝. 一种新的数据隐藏方法[J]. 电子学报, 2004, 32(9): 1444 ~ 1447.]
- 5 Cheng Yi-min, Xie Yu-ming, Wang Yi-xiao, et al. A method for secret transmission of color video[J]. Journal of Image and Graphics, 2005, 10(1): 93 ~ 97. [程义民, 谢于明, 王以孝等. 一种彩色视频信息的隐秘传输方法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(1): 93 ~ 97.]
- 6 Ni Z C, Shi Y Q, Ansari N, et al. Reversible data hiding[A]. In: Proceedings of the 2003 International Symposium on Circuits and Systems[C], Seoul, Korea, 2003, 2: 912 ~ 915.
- 7 Tian J. Reversible data embedding using a difference expansion[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13(8): 890 ~ 896.
- 8 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.
- 9 Fridrich J, Goljan M, Du R. Invertible authentication[A]. In: Proceedings of the SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Content[C], San Jose, CA, USA, 2001: 197 ~ 208.
- 10 De Vleeschouwer C, Delaigle J F, Macq B. Circular interpretation on histogram for reversible watermarking[A]. In: Proceedings of the IEEE International Multimedia Signal Processing Workshop[C], Cannes, France, 2001: 345 ~ 350.
- 11 Xuan C R, Zhu J, Chen J D, et al. Distortionless data hiding based on integer wavelet transform[J]. IEE Electronics Letters, 2002, 38(25): 1646 ~ 1648.
- 12 Awrangzeb Mohammad, Kankanhalli Mohan S. Reversible watermarking using a perceptual model [J]. SPIE, Journal of Electronic Imaging, 2005, 14(1): 1 ~ 8.
- 13 Chu S C, Roddick J F, Lu Z M, et al. Digital image watermarking method based on labeled bisecting clustering algorithm [J]. The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE) Transactions on Fundamentals, 2004, 87(1): 282 ~ 285.
- 14 Avcibas I, Memon N. Steganalysis using image quality metrics[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(2): 221 ~ 229.