

中图法分类号: TP309 TN918.74 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)07-1146-07

论文索引信息: 邱应强. 利用改进整数变换实现图像无损信息隐藏 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(7): 1146-1152

# 利用改进整数变换实现图像无损信息隐藏

邱应强

(华侨大学信息科学与工程学院, 厦门 361021)

**摘要:** 为了在图像中实现无损信息隐藏, 并提高数据嵌入容量和隐蔽性, 给出一种基于改进整数变换的无损信息隐藏方法。首先对图像块采用改进算法进行整数变换, 使得变换前后图像块引入失真较少, 然后自适应选择整数变换后引入失真较小的可修改图像块进行整数变换, 并嵌入较大数据量的机密信息, 在公共信道进行传输后接收端能正确提取机密信息, 并无损恢复原宿主图像。实验结果表明, 该方法具有较大的数据嵌入容量和较好的隐蔽性, 可用于医学图像中隐藏病历信息及遥感、军事图像的无损隐秘传输等领域。

**关键词:** 信息隐藏; 改进整数变换; 嵌入/提取; 无损恢复

## Image reversible data hiding with modified integer transform

Qiu Yingqiang

(College of Information Science & Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021 China)

**Abstract:** In order to realize reversible data hiding in image as well as improve embedding capacity and secrecy, a reversible data hiding method based on modified integer linear transform is proposed. Large capacity secret information can be embedded adaptively in the translated image blocks with less distortion, which is transformed by the modified integer transform introducing less distortion. After transmitted in open channels, the hidden data can be extracted correctly and the host image can be lossless recovered from the marked image. The experimental results show that the proposed method has larger embedding capacity and better secrecy. It can be applied to hiding case history in medical images and also can be used for lossless covert communication in remote sensing images, military images and etc.

**Keywords:** data hiding; modified integer transform; embedding/extracting; lossless recovery

## 0 引言

随着数字技术、通信技术和网络技术的迅速发展, 与之相关的信息安全越来越重要。作为一项有效的信息安全技术, 信息隐藏可广泛应用于数字信息的知识产权保护认证<sup>[1-2]</sup>或机密信息隐秘传输<sup>[3]</sup>等信息安全领域。目前, 大多信息隐藏方法会造成原宿主信息质量受损, 同时在提取出嵌入的机密信息后, 原宿主信息不能无损恢复<sup>[4]</sup>。而在医学诊断、军事和遥感图像处理及法律认证等要求较高的

应用领域, 往往需要精确无误地恢复受损的原宿主信息。为此, 许多学者提出了针对该应用领域的无损隐藏方法。

2003年, Tian给出通过整数变换在图像中实现具有较大嵌入容量的无损隐藏方法<sup>[5-6]</sup>。2004年, Alattar对Tian的算法进行了改进, 进一步提高了算法的嵌入能力<sup>[7-8]</sup>。2005年, Celik等人给出了一种广义LSB无损信息隐藏算法, 通过把无损压缩后的预留区域元素LSB信息、可修改向量区域量化差值以及机密信息嵌入原宿主信息中实现无损隐藏, 提取机密信息后也能够无损恢复原宿主信息<sup>[9]</sup>。Guo

收稿日期: 2010-04-19; 修回日期: 2010-07-14

第一作者简介: 邱应强(1981—), 男, 讲师。2006年于中国科学技术大学获硕士学位, 研究方向为信息隐藏、图像处理等。

E-mail: yqqiu@hqu.edu.cn

等人在 2006 年对 Alattar 算法进行改进并应用于语音信息隐藏,在嵌入容量和隐蔽性相当的情况下提高了算法实现速度<sup>[10]</sup>。由于一些无损隐藏方法需要对可修改向量区域信息进行无损压缩后再和机密信息一起嵌入才能在提取机密信息后无损恢复原宿主信息,从而造成嵌入机密信息较少。2007 年, Xie 等人针对这个问题在文献[11]中给出了一种新的基于整数变换的无损隐秘传输方法,无须保存,可修改向量区域信息,从而提高嵌入容量。

对文献[11]给出的整数变换算法进行改进,将整数变换引入的失真减少一半,并给出提高嵌入信息隐蔽性的新方法,可根据待嵌入信息数据量大小自适应选择整数变换前、后引入失真较小的可修改图像块进行整数变换,并嵌入机密信息实现图像中的信息无损隐藏,从而提高嵌入信息隐蔽性。嵌入机密信息后的图像经公共信道进行传输后,接收端能够正确提取图像中嵌入的机密信息,并可无失真恢复原宿主图像。局域网上的仿真实验结果表明,本文所给出的方法具有较大的嵌入容量,同时嵌入机密信息后图像具有较好的隐蔽性,可应用于医学图像中存储病例信息,也可用于遥感或军事图像的隐秘传输等领域。

## 1 系统概述

系统主要包括发送端及接收端两大部分。图 1 给出了将机密信息隐藏在图像中隐秘传输的发送端信息处理部分框图。首先通过预处理把宿主图像分割成互不重叠的图像块,根据图像块个数将部分图像块组成预留区域,其余图像块组成待嵌入区域。对待嵌入区域每一个图像块像素点组成的向量按照整数变换算法进行整数变换,并根据整数变换结果分成可修改图像块及不可修改图像块两类,计算可修改图像块整数变换前后所引入的均方误差值 MSE 并进行排序,结合待隐藏数据信息量及预留图像块的 LSB 信息量将部分整数变换引入失真小的可修改图像块用来嵌入数据,并用“1”值标记,待嵌入区域其余图像块将不用于信息隐藏,相应标记值为“0”。将所有待嵌入区域图像块标记值按一定顺序组合成一组二值序列,采用奇偶调制方式直接取代预留区域图像块最低有效位。最后根据数据嵌入算法,将预留区域原最低有效位结合机密信息经加

密及伪随机化处理得到的数据直接取代可修改图像块经整数变换后数据的最低有效位,完成信息嵌入得到隐藏后的图像。

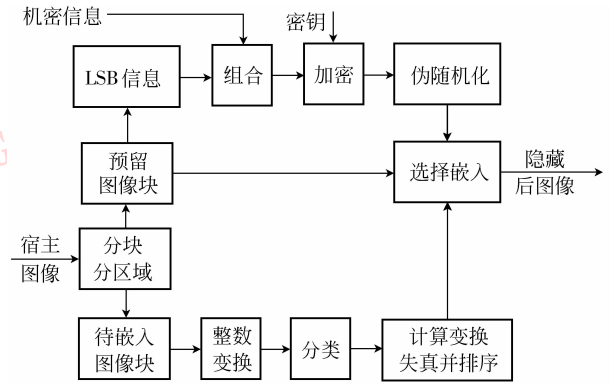


图 1 数据嵌入框图

Fig. 1 Block diagram of data embedding

接收端将接收到含有机密信息的图像进行分块分类,根据预留区域图像块每一像素 LSB 信息提取用于嵌入数据的可修改图像块中所嵌入信息,经解密后得到机密信息和预留图像块各像素点的原 LSB 信息用于恢复预留图像块,同时通过整数逆变换恢复修改的可修改图像块,最终无损恢复原宿主图像。

## 2 数据嵌入/提取及图像无损恢复算法

为了方便讨论,将待嵌入区域图像块中的  $n$  个相邻像素点组成向量表示为  $\mathbf{v} = (v_1, \dots, v_i, \dots, v_n)$ ,  $0 \leq v_i \leq 255, 1 \leq i \leq n$ , 对  $\mathbf{v}$  中所有元素  $v_i$  作如下线性变换

$$v'_i = T_1(v_i) = \frac{(n+2)v_i - \sum_{j=1}^n v_j}{2} \quad (1)$$

组成新向量  $\mathbf{v}' = (v'_1, \dots, v'_i, \dots, v'_n)$ , 线性变换前后满足

$$\sum_{i=1}^n v'_i = \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{n}{2} + 1 \right) v_i - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{2m} v_j \right] = \sum_{i=1}^n v_i \quad (2)$$

因此对应线性逆变换为

$$v_i = T_1^{-1}(v'_i) = \frac{2v'_i + \sum_{j=1}^n v'_j}{n+2} \quad (3)$$

通过式(1)变换不可避免会造成向量  $\mathbf{v}'$  中的某些元素  $v'_i$  可能是非整数,对应的小数值为 0.5。若其中非整数元素个数为奇数,则向量  $\mathbf{v}'$  中所有元素和为

非整数, 而根据  $\nu$  的定义可知  $\sum_{i=1}^n \nu_i$  为整数,  $\sum_{i=1}^n \nu'_i = \sum_{i=1}^n \nu_i$  矛盾。因此,  $\nu'$  中非整数元素个数一定是偶数  $2l(0 \leq 2l \leq n)$ , 可对所有非整数元素进行从小到大排序 (其中值相同元素按其所在向量  $\nu'$  中下标排序), 排序后非整数元素在向量  $\nu'$  中下标依次为  $j_1, \dots, j_l, j_{l+1}, \dots, j_{2l}$ , 并将  $j_1, \dots, j_l$  组成集合  $J_1, j_{l+1}, \dots, j_{2l}$  组成集合  $J_2, \nu'$  的所有向量再按下式进行变换得到整数元素

$$\nu''_i = T_2(\nu'_i) = \begin{cases} \nu'_i + 0.5 & i \in J_1 \\ \nu'_i - 0.5 & i \in J_2 \\ \nu'_i & i \notin J_1 \cup J_2 \end{cases} \quad (4)$$

由于  $2l$  个小数值为 0.5 的非整数其中一半加 0.5, 另一半减 0.5, 因此  $\sum_{i=1}^n \nu''_i = \sum_{i=1}^n \nu'_i$ 。

图像块向量  $\nu$  经过两次变换后得到的整数向量  $\nu'' = (\nu''_1, \dots, \nu''_i, \dots, \nu''_n)$  存在两种情况: 若  $\nu''$  中的任意元素  $\nu''_i \in [0, 255]$ , 则  $\nu'' \in E$ , 可对该图像块进行整数变换并在其中嵌入信息, 称为可修改图像块; 否则  $\nu'' \in \bar{E}$ , 图像块不能进行整数变换, 称为不可修改图像块。

当  $\nu'' \in E$  时,  $\nu''$  中任意元素  $\nu''_i$  的最低有效位记为  $LSB(\nu''_i) (LSB(\nu''_i) \in [0, 1])$ 。设  $\nu''$  中元素最低有效位中值为“1”和“0”的个数分别为  $n_1, n_2$ , 分别组成子集  $O_{\nu''} = (\nu''_i | LSB(\nu''_i) = 1, i \in [1, n])$  和子集  $E_{\nu''} = (\nu''_i | LSB(\nu''_i) = 0, i \in [1, n])$ , 有  $n_1 \geq 0, n_2 \geq 0, n_1 + n_2 = n$ 。根据  $n_1, n_2$  大小关系讨论如下:

1) 当  $n_2 > n_1$  时, 定义

$$\nu_i^* = (\nu''_i)_{(2)} \& (254)_{(2)}$$

式中,  $(\cdot)_{(2)}$  代表  $\cdot$  对应的 8 位二进制数, “&” 代表按位逻辑与运算。

(1) 若  $\nu''_i \in O_{\nu''}$ , 即  $\nu_i^* = \nu''_i - 1$ , 有

$$\frac{2\nu_i^* + \sum_{j=1}^n \nu_j^*}{n+2} = \frac{2(\nu''_i - 1) + \sum_{o=1}^{n_1} (\nu''_{j_o} - 1) + \sum_{z=1}^{n_2} \nu''_{j_z}}{n+2} = \frac{2\nu''_i + \sum_{j=1}^n \nu''_j - (n_1 + 2)}{n+2} \quad (5)$$

将  $\nu''_i$  与  $\nu'_i$  可能的 3 种关系式  $\nu''_i = \nu'_i, \nu''_i = \nu'_i + 0.5, \nu''_i = \nu'_i - 0.5$  分别代入式(5), 得

$$\frac{2\nu_i^* + \sum_{j=1}^n \nu_j^*}{n+2} =$$

$$\begin{cases} \frac{2\nu'_i + \sum_{j=1}^n \nu'_j}{n+2} - \frac{n_1 + 2}{n+2} = \nu_i - \frac{n_1 + 2}{n+2} \\ \frac{2(\nu'_i + 0.5) + \sum_{j=1}^n \nu'_j - (n_1 + 2)}{n+2} = \nu_i - \frac{n_1 + 1}{n+2} \\ \frac{2(\nu'_i - 0.5) + \sum_{j=1}^n \nu'_j - (n_1 + 2)}{n+2} = \nu_i - \frac{n_1 + 3}{n+2} \end{cases} \quad (6)$$

根据  $n_2 > n_1 \geq 0, n = n_1 + n_2$  可得  $0 < \frac{n_1 + 1}{n+2} < 1$ ,

$0 < \frac{n_1 + 2}{n+2} < 1, 0 < \frac{n_1 + 3}{n+2} < 1$ 。因此

$$\nu_i = \left\lceil \frac{2\nu_i^* + \sum_{j=1}^n \nu_j^*}{n+2} \right\rceil \quad (7)$$

式中,  $\lceil \cdot \rceil$  表示向上取整。

(2) 若  $\nu''_i \in E_{\nu''}$ , 即  $\nu_i^* = \nu''_i$ , 有

$$\frac{2\nu_i^* + \sum_{j=1}^n \nu_j^*}{n+2} = \frac{2\nu''_i + \sum_{o=1}^{n_1} (\nu''_{j_o} - 1) + \sum_{z=1}^{n_2} \nu''_{j_z}}{n+2} = \frac{2\nu''_i + \sum_{j=1}^n \nu''_j - n_1}{n+2} \quad (8)$$

同理, 将  $\nu''_i$  与  $\nu'_i$  可能的 3 种关系式  $\nu''_i = \nu'_i, \nu''_i = \nu'_i + 0.5, \nu''_i = \nu'_i - 0.5$  分别代入式(8), 得

$$\frac{2\nu_i^* + \sum_{j=1}^n \nu_j^*}{n+2} = \begin{cases} \frac{2\nu'_i + \sum_{j=1}^n \nu'_j}{n+2} - \frac{n_1}{n+2} = \nu_i - \frac{n_1}{n+2} \\ \frac{2(\nu'_i + 0.5) + \sum_{j=1}^n \nu'_j - n_1}{n+2} = \nu_i - \frac{n_1 - 1}{n+2} \\ \frac{2(\nu'_i - 0.5) + \sum_{j=1}^n \nu'_j - n_1}{n+2} = \nu_i - \frac{n_1 + 1}{n+2} \end{cases} \quad (9)$$

当存在  $\nu''_i = \nu'_i + 0.5$  为偶数且  $n_1 = 0$  时, 由于  $\nu'$  非整数元素个数为偶数, 因此根据  $T_2$  变换定义必存在  $\nu''_j = \nu'_j - 0.5$  为偶数, 可将  $\nu''_i = \nu'_i + 0.5, \nu''_j = \nu'_j - 0.5$  修改为奇数  $\nu''_i = \nu'_i - 0.5, \nu''_j = \nu'_j + 0.5$ , 即可使得  $n_1 > 0$ 。在这样的约束条件下, 根据  $n_2 > n_1, n = n_1 + n_2$  可得  $0 \leq \frac{n_1}{n+2} < 1, 0 < \frac{n_1 - 1}{n+2} < 1, 0 < \frac{n_1 + 1}{n+2} < 1$ 。因此, 在这种情况下同样满足式(7)。因此, 当  $n_2 > n_1$  时, 在

满足上述讨论的约束条件下,可通过对向量 $\boldsymbol{\nu}''$ 中所有元素最低有效位置“0”得到 $\boldsymbol{\nu}^*$ ,并通过式(10)进行整数逆变换无损还原。

$$\nu_i = T^{-1}(\nu_i^*) = \left\lfloor \frac{2\nu_i^* + \sum_{j=1}^n \nu_j^*}{n+2} \right\rfloor \quad (10)$$

2) 当 $n_1 > n_2$ 时,定义 $\nu_i^* = (\nu_i'')_{(2)} \& (255)_{(2)}$ 。同时,当 $\nu_i'' \in \mathbf{O}_{\nu''}, \nu_i'' = \nu_i' - 0.5$ 为奇数且 $n_2 = 0$ 时,对 $\boldsymbol{\nu}''$ 存在的奇数 $\nu_i'' = \nu_i' - 0.5, \nu_j'' = \nu_j' + 0.5$ 修改为偶数 $\nu_i'' = \nu_i' + 0.5, \nu_j'' = \nu_j' - 0.5$ ,使得该情况下 $n_2 > 0$ 。同理可证,在以上讨论的各种不同情况下,均通过对向量 $\boldsymbol{\nu}''$ 中所有元素最低有效位置“1”得到 $\boldsymbol{\nu}^*$ ,并通过下式进行整数逆变换无损还原。

$$\nu_i = T^{-1}(\nu_i^*) = \left\lfloor \frac{2\nu_i^* + \sum_{j=1}^n \nu_j^*}{n+2} \right\rfloor \quad (11)$$

式中, $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整。

3) 当 $n_1 = n_2$ 时,既可以按照情况1)处理,定义 $\nu_i^* = (\nu_i'')_{(2)} \& (254)_{(2)}$ ,对应整数逆变换为式(10);也可按照情况2)处理,定义 $\nu_i^* = (\nu_i'')_{(2)} \& (255)_{(2)}$ ,对应整数逆变换式为式(11)。

综上所述,当进行整数变换得到的 $\boldsymbol{\nu}'' \in \mathbf{E}$ 时,需要根据 $\boldsymbol{\nu}''$ 中元素最低有效位“1”、“0”值个数 $n_1, n_2$ 的大小关系确定整数逆变换时需要将 $\boldsymbol{\nu}''$ 各元素最低有效位置“0”或置“1”。因此,可用1比特标记值“0”或“1”直接取代 $\boldsymbol{\nu}''$ 某一特定元素最低有效位表明该向量逆变换时各元素最低有效位需置“0”或置“1”,对应逆变换式为式(10)或式(11),该向量其余元素最低有效位可采用奇偶调制方式直接待嵌入信息取代,从而完成在向量 $\boldsymbol{\nu}''$ 中嵌入 $n-1$ 比特信息且不影响向量逆变换无损恢复。

### 3 嵌入失真分析

由上述讨论可知,在 $\boldsymbol{\nu}$ 整数变换后得到的 $\boldsymbol{\nu}''(\boldsymbol{\nu}'' \in \mathbf{E})$ 中嵌入数据是采用奇偶调制方式直接取代 $\boldsymbol{\nu}''$ 各元素最低有效位来实现的,该操作引入失真具有一定随机性且失真值较小。而 $T_2$ 变换仅仅只是将 $T_1$ 变换得到的非整数进行取整操作,该变换引入失真也较小。因此,信息隐藏前后图像失真主要来自于整数变换 $T_1$ 。根据 $T_1$ 变换定义式(1),变换前后图像块间的均方误差值为

$$\text{MSE}(\boldsymbol{\nu}', \boldsymbol{\nu}) = \frac{\sum_{i=1}^n (\nu_i' - \nu_i)^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (n\nu_i - \sum_{i=1}^n \nu_i)^2}{4n} \quad (12)$$

文献[11]给出无损隐藏方法同样是采用奇偶调制方式将待嵌入数据直接取代可修改图像块各像素点整数变换后的最低有效位实现信息隐藏,信息隐藏前后图像失真也主要来自于整数变换。文献[11]整数变换定义为

$$\nu_i^- = T(\nu_i) = (n+1)\nu_i - \sum_{i=1}^n \nu_i \quad (13)$$

变换前后图像块间的均方误差值为

$$\text{MSE}(\boldsymbol{\nu}^-, \boldsymbol{\nu}) = \frac{\sum_{i=1}^n (\nu_i^- - \nu_i)^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (n\nu_i - \sum_{i=1}^n \nu_i)^2}{n} \quad (14)$$

对比式(12)和式(14)可得 $\text{MSE}(\boldsymbol{\nu}', \boldsymbol{\nu}) = \frac{\text{MSE}(\boldsymbol{\nu}^-, \boldsymbol{\nu})}{4}$ 。

整数变换对图像块质量影响可用峰值信噪比PSNR来客观评价

$$\text{PSNR} = 10 \lg \left( \frac{255^2}{\text{MSE}} \right) \quad (15)$$

因此, $\text{PSNR}(\boldsymbol{\nu}', \boldsymbol{\nu}) = \text{PSNR}(\boldsymbol{\nu}^-, \boldsymbol{\nu}) + 6$  dB。相同图像块采用本文给出的整数变换算法进行整数变换后图像质量优于文献[11]算法,本文给出算法在 $n$ 个像素点可修改图像块中仅嵌入 $n-1$ 比特数据,而文献[11]算法可嵌入 $n$ 比特数据。但采用本文方法在相同的可修改图像区域能够得到更多的可修改图像块数。

此外,当嵌入数据量小于图像最大嵌入容量时,为了提高嵌入信息隐蔽性可根据嵌入数据量大小选择整数变换前后MSE较小的可修改图像块进行整数变换并嵌入机密信息,从而提高嵌入信息隐蔽性。

## 4 数据嵌入/提取及图像恢复步骤

### 4.1 发送端嵌入步骤

1) 发送端将大小为 $N_1 \times N_2$ 的图像 $\mathbf{I}$ 分割成 $N = \lfloor N_1/n_1 \rfloor \times \lfloor N_2/n_2 \rfloor$ 个互不重叠的大小为 $n = n_1 \times n_2$ 的图像块,选择其中 $\lfloor \frac{N}{n+1} \rfloor$ 个图像块作为预留区域

图像块,提取预留区域图像块每一个像素的 LSB 组成数据流  $L$ ;其余作为待嵌入区域图像块,各图像块组成  $n$  维向量  $\nu$ 。

2) 待嵌入机密数据流  $P$  结合数据流  $L$ ,经密钥 Key 加密后得到数据流  $W$ , $W$  经伪随机化处理后得到  $W'$ ,统计  $W'$  的大小。

3) 对由待嵌入图像块组成的每一个  $n$  维向量  $\nu$  各元素按照式(1)和式(4)进行整数变换得到  $\nu'$ ,并判定是否属于集合  $E$ ,计算所有属于集合  $E$  的向量  $\nu'$  与整数变换前向量  $\nu$  之间的 MSE 值并排序,根据序列  $W'$  的大小选择变换前后引入 MSE 值小的部分待嵌入图像块作为可修改图像块,用“1”值标记,其余图像块用“0”值标记,所有标记值按一定顺序组成序列  $M$ ,采用奇偶调制方式直接取代预留图像块像素最低有效位。

4) 根据标记值为“1”的待嵌入图像块对应向量  $\nu'$  中最低有效位“0”、“1”值的个数大小确定标记值,并取代  $\nu'$  中的某一特定元素最低有效位, $\nu'$  中其余元素最低有效位则采用奇偶调制方式直接用  $W'$  序列依次取代,得到新向量取代  $\nu$  实现数据嵌入。其余标记值“0”的待嵌入图像块保留不变,图像块重组得到隐藏后的图像  $I'$ 。

#### 4.2 接收端提取/恢复步骤

1) 将图像  $I'$  分块、分类得到预留图像块和嵌入区域图像块,提取预留区域图像块每一像素 LSB 得到  $M$  序列。

2) 在  $M$  序列中值为“1”所对应的嵌入区域图像块中依次提取除特定像素外的最低有效位得到嵌入的  $W'$  信息,经反伪随机化处理得到的  $W$  信息再解密后得到隐藏的机密信息  $P$  和  $L$ 。该图像块根据特定像素最低有效位,按照式(14)或式(15)进行整数逆变换恢复。

3) 利用  $L$  恢复预留图像块,所有图像块重组恢复原宿主图像  $I$ 。

## 5 实验与数据分析

为了验证文中所述方法,在计算机上(Windows XP 平台)采用 Visual C++ 6.0 软件和 MATLAB 2008a 软件进行了仿真实验。实验中采用部分大小为  $512 \times 512$  的 256 级灰度标准测试图像,以下给出部分实验比较结果。

表 1 给出了 Lena、F16、Peppers 分别采用本文给

出的无损隐藏方法及文献[11]给出的无损隐藏方法使用图像块参数  $n = 2 \times 2$  嵌入 1 kB、2 kB、4 kB 或 8 kB 汉字信息时,图像嵌入前后峰值信噪比仿真实验结果。从实验结果数据可以看出,给出的方法对同一图像嵌入相同汉字信息后隐蔽性明显优于文献[11]的方法,这是由于算法引入失真主要由整数变换产生,而本文给出的整数变换算法对图像块各元素进行整数变换时引入的失真仅为文献[11]方法的一半。采用本文方法在这几幅图像中分别嵌入 512 个、1 024 个、2 048 个或 4 096 个汉字时比采用文献[11]方法嵌入相同汉字信息时平均峰值信噪比依次高出 9.36 dB、8.89 dB、8 dB、6.66 dB;这些数据还表明,在嵌入信息量小于最大嵌入容量时本文方法通过选择整数变换前后 MSE 较小的可修改图像块进行整数变换并嵌入机密信息可进一步提高隐蔽性。

表 1 一组图像嵌入汉字信息前、后图像 PSNR

Tab.1 A group of images' PSNR with Chinese characters embedded

嵌入量/kB	/dB							
	本文方法				文献[11]方法			
	1	2	4	8	1	2	4	8
Lena	45.67	44.55	42.46	38.38	36.44	35.70	34.34	31.55
F16	47.59	46.28	43.91	38.85	38.24	37.50	36.07	32.22
Peppers	41.86	40.75	38.71	35.10	32.36	31.76	30.66	28.58
平均	45.04	43.86	41.69	37.44	35.68	34.97	33.69	30.78

表 2 给出了测试图像采用两种不同方法分别使用图像块参数  $n = 2 \times 2$ ,  $n = 3 \times 2$  嵌入最大嵌入汉字量的实验结果。结果表明,各图像采用本文方法最大嵌入量略低于采用文献[11]方法,这是由于尽管本文方法在  $n$  个像素点的可修改图像块中仅嵌入

表 2 一组图像最大嵌入汉字量及其 PSNR

Tab.2 A group of images' max embedded amounts of Chinese character and its PSNR

图像块大小	图像名	文献[11]方法		本文方法	
		最大嵌入量/Byte	PSNR/dB	最大嵌入量/Byte	PSNR/dB
2 × 2	Lena	14 114	25.41	12 994	28.72
	F16	12 875	25.59	12 570	27.05
	Peppers	12 885	24.90	12 402	28.61
3 × 2	Lena	18 383	22.99	17 817	25.58
	F16	16 406	23.71	16 547	25.41
	Peppers	16 302	21.93	16 549	25.61

$n - 1$  bit 数据,文献[11]方法可嵌入  $n$  bit 数据,而采用本文方法能够得到更多的可修改图像块数。但 PSNR 值高出 3 dB 左右,具有更好的隐蔽性。

图 2 给出了图像 Lena 部分实验结果示意图。(a) 为  $512 \times 512 \times 8$  的宿主图像 Lena; (b) (c) 分别为采用文献[11]方法、本文方法嵌入 4 kB 汉字信息后的图像,嵌入 PSNR 值分别为 34.34 dB、42.46 dB; (d) (e) 分别为采用文献[11]方法、本文方法使用图像块参数  $n = 2 \times 2$  嵌入最大 14 114 B、12 994 B 汉字信息后的图像,PSNR 值分别为 25.41 dB、28.72 dB;

(f) (g) 分别为采用文献[11]方法、本文方法使用图像块参数  $n = 3 \times 2$  嵌入最大 18 383 Byte、17 817 Byte 汉字信息后的图像,PSNR 值分别为 22.99 dB、25.58 dB;从(b) — (g) 任一图像中均能无损恢复原图像,见(h)。

表 3 给出了本文方法(图像块参数  $n = 2 \times 2$ )与文献[11-13]方法在大小为  $512 \times 512 \times 8$  的宿主图像 Peppers 中的嵌入容量和峰值信噪比的比较结果。数据表明,本文方法在保证较好的嵌入信息隐蔽性的情况下,可嵌入较大容量的机密信息。

表 3 不同方法在 Peppers 图像中的实验结果比较

Tab.3 Comparison using different methods on image 'Peppers'

实验方法	嵌入容量/Byte	嵌入前后 PSNR/dB
文献[11]方法	10 000	27.47
文献[12]方法	911	25.75
文献[13]方法	8 661	29.11
本文方法	10 000	31.93

以上实验中得到的隐藏后图像通过局域网传输后,接收端汉字的正确提取率为 100%,且正确提取出汉字信息后原图像均可无损恢复。

## 6 结 论

给出一种基于改进整数变换的图像无损隐秘传输方法。该方法对文献[11]给出的整数变换算法进行改进,将整数变换引入的失真减少一半,同时给出了提高嵌入信息隐蔽性的新方法,可根据待嵌入信息数据量大小自适应选择整数变换前、后引入误差较小的可修改图像块进行整数变换后通过奇偶调制方式嵌入机密信息实现图像中的信息无损隐藏,从而提高嵌入信息隐蔽性。嵌入机密信息后的图像可经公共信道进行传输,接收端在正确提取图像中嵌入的机密信息后可无失真恢复原宿主图像。仿真实验结果表明,所给出的方法具有较高的嵌入容量,同时嵌入机密信息后图像具有较好的隐蔽性,适用医学图像中存储病例信息和遥感或军事图像的无损隐秘传输等领域,也可用于音频、视频等多媒体信息为宿主的信息隐藏。此外,图像无损隐藏算法鲁棒性、可靠性等有待进一步研究。



图 2 部分实验结果示意图

Fig.2 Some experiment images

## 参考文献 (References)

- [ 1 ] Qin Zheng, Yi Yeqing, Lin Yaping. Robust watermark based on JADE algorithm [ J ]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(6): 1149-1153. [ 秦拯, 易叶青, 林亚平. 基于 JADE 算法的鲁棒性数字水印 [ J ]. 电子学报, 2008, 36(6): 1149-1153. ]
- [ 2 ] Altun H O, Orsdemir A, Sharma G, Bocko M F. Optimal spread spectrum watermark embedding via a multistep feasibility formulation [ J ]. IEEE Transactions on Image Processing, 2009, 18(2): 371-387.
- [ 3 ] Cheng Yimin, Xie Yuming, Wang Yixiao, 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. ]
- [ 4 ] Qiu Yingqiang, Zhang Yuzhao, Guo Rongxin, et al. Data hiding method based on VQ\_Compressed images [ J ]. Journal of Image and Graphics, 2009, 14(6): 1096-1101. [ 邱应强, 张育钊, 郭荣新, 等. 一种基于图像矢量量化压缩的数据隐藏方法 [ J ]. 中国图象图形学报, 2009, 14(6): 1096-1101. ]
- [ 5 ] Tian J. Reversible data embedding using a difference expansion [ J ]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology (S1051-8215), 2003, 13(8): 890-896.
- [ 6 ] Tian J. High capacity reversible data embedding and content authentication [ C ] // IEEE International Conference on Speech, and Signal Processing ( ICASSP ). Hong Kong, China: The Institute of Electrical and Electronics Engineers Signal Processing Society, 2003: III-517-520.
- [ 7 ] Alattar A M. Reversible watermark using difference expansion of quads [ C ] // IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing ( ICASSP ). Montreal, Canada: The Institute of Electrical and Electronics Engineers Signal Processing Society, 2004: 377-380.
- [ 8 ] Alattar A M. Reversible watermark using the difference expansion of ageneralized integer transform [ J ]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(8): 1147-1156.
- [ 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 ] Guo Zhichuan, Cheng Yimin, Wang Yixiao, et al. A method and simulation of lossless covert communication [ J ]. Journal of System Simulation, 2006, 18(6): 1638-1642. [ 郭志川, 程义民, 王以孝, 等. 一种无损的隐秘传输方法与仿真 [ J ]. 系统仿真学报, 2006, 18(6): 1638-1642. ]
- [ 11 ] Xie Yuming, Cheng Yimin, Wang Yunlu, et al. Lossless covert communication method based on integer linear transform [ J ]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(9): 1562-1567. [ 谢于明, 程义民, 汪云路, 等. 基于整数线性变换的无损隐秘传输方法 [ J ]. 中国图象图形学报, 2007, 12(9): 1562-1567. ]
- [ 12 ] Xuan G 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.
- [ 13 ] Awrangjeb M, Kankanhalli M S. Reversible watermarking using a perceptual model [ J ]. SPIE, Journal of Electronic Imaging, 2005, 14(1): 1-8.