

基于人眼视觉系统模型的湿纸密写方法

陈志宏¹ 刘文耀² 刘方超²

(天津理工大学电子信息与通信工程学院 天津 300384)¹

(天津大学精密仪器与光电子工程学院 天津 300072)²

摘要 密写是信息安全领域的一个重要分支,近年来引起了各国研究机构的高度重视。提出的基于人眼视觉系统的湿纸密写方法根据图像局部纹理复杂程度、对噪声的敏感程度以及明亮度对图像的小波系数选择性嵌入秘密信息,从而达到隐蔽通信的目的。秘密信息接收者无需知道具体的密写方法,只需做简单的矩阵乘法操作就可以提取秘密信息,实现了秘密信息传输过程中密写方法的不可见性。实验表明,该密写方法除具有很好的鲁棒性外,在隐蔽性上比传统频域内的密写方法有了很大提升,是一种非常实用的密写方法。

关键词 信息安全,信息隐藏,密写,湿纸密写,人眼视觉系统

中图分类号 TP391,TP309 **文献标识码** A

Writing on Wet Paper Based on Human Visual System Characters

CHEN Zhi-hong¹ LIU Wen-yao² LIU Fang-chao²

(School of Electronics Information and Communications Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)¹

(College of Precision Instruments and Opto-electronic Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)²

Abstract Steganography is an important embranchment of information security domain and is attached importance by a lot of institutes and organizations in many countries. This letter put forward a new steganographic method of writing on wet paper based on human visual system characters, which selects images' wavelet coefficients according with the degree of texture complexity, brightness and sensitivity to noise in the local neighborhood to embed secrete bits in them and achieves the intention of invisible transmission. The receivers need not to know the formulas used by senders and can extract secret bits from carrier images by only doing sample matrixes multiplications. The experimental results of the proposed embedding method show a better performance against the methods of active attacks such as JPEG compression, noise addition and so on. And the security of the new method has improved greatly compared with the classic wavelet steganographic methods because of its template of writing on wet paper.

Keywords Information security, Information hiding, Steganography, Writing on wet paper, Human visual system

1 引言

近年来,随着计算机技术与网络的迅猛发展,信息安全越发凸显出其在科研与应用领域内的重要地位。其中密写(Steganography)与密写分析(Steganalysis)作为20世纪90年代的新兴技术,是该领域的重要分支。密写利用人类感觉器官对数字信号的感觉冗余,将秘密信息隐藏在载体信息(包括文本、图像、音频、视频等)中,加密后载体的外部特征只有人类感觉器官无法察觉的微小变化,使得在传递载体的同时传递秘密信息并且不被人察觉。密写分析与之相反,其目的是检测出载体中存在秘密信息的可能性并中断信息的传递。密写算法为达到高密写率、低可见度以及高鲁棒性,往往根据不同的载体类型、变换域等特性设计不同的嵌入方法,以达到最佳性能。目前国际上,密写与密写分析在隐秘传输、知识产权保护、医学诊断、军事图像与遥感图像处理、多媒体信息认

证和法律认证等多个领域内有了广泛的应用。

基于人眼视觉系统模型的密写方法利用人眼对图像复杂纹理区域不敏感这一特性,将秘密信息隐藏在图像中纹理细节相对复杂的区域中,可以有效地提高密写的隐蔽性。近几年来,小波变换由于非常适宜模拟人眼视觉系统(human visual system, HVS),越来越多地被科研人员应用到密写领域中^[1,2]。而湿纸密写(writing on wet paper)的概念最早在2005年由Jessica Fridrich等人提出并发表了相关论文^[3],文中作者将载体图像想象成为一张部分潮湿的纸,只有干燥的部分可以被用来嵌入秘密信息,密写完成后再将整张纸烘干以后传递给接收者。接收者并不需要知道密写前纸张的潮湿区域,而只用一种特定的方法就可以提取秘密信息。由于湿纸密写的嵌入方法无论对于接收者还是攻击者来说都是完全封闭的,极大地提高了密写的安全性。

本文基于人眼视觉系统和湿纸密写概念的研究,提出了

到稿日期:2008-07-07 返修日期:2008-10-17 本文受国家“863”高科技研究发展计划(2003AA84ts05)资助。

陈志宏(1978—),男,讲师,博士,主要研究方向为数字图像处理、密写与密写分析、光信息处理等,E-mail:revertixer@gmail.com;刘文耀(1944—),男,教授,主要研究方向为数字图像处理、光电检测等;刘方超(1985—),男,硕士研究生,主要研究为图像处理等。

一种基于人眼视觉系统模型的湿纸密写方法。此方法既保持了小波域内密写方法鲁棒性好的特点,又通过湿纸密写的思想使得密写的隐蔽性有了很大的提高。我们将在下面小节进行具体的分析。

2 基于人眼视觉系统模型的湿纸密写方法

2.1 湿纸密写原理

假设载体图像 X 包含 n 个像素 $x_i, x_i \in \{0, 1, \dots, 255\}$, $i=1, 2, \dots, n$, 选择 x_i 中的 k 个像素嵌入秘密信息, 那么有 $x_j \in \{0, 1, \dots, 255\}$, $j \in J \subset \{1, 2, \dots, n\}$ 且 $|J|=k$ 。湿纸密写中把 J 称为选择频道(selection channel)^[3], 在载体图像的传递过程中选择频道是不共享的。

选择频道中的像素 x_j 在密写过程中可能被改写为 y_j 。把密写前后载体图像以向量的方式表示, 令 $b_x = (x_1, x_2, \dots, x_n)'$, $b_y = (y_1, y_2, \dots, y_n)'$, 若长度为 m 位的秘密信息 $s = (s_1, s_2, \dots, s_m)$, 则可以令

$$Db_y = s \quad (1)$$

其中 D 是一个大小为 $m \times n$ 的矩阵, 在含密图像的传递过程中 D 是共享的。式(1)可以改写为 $Dv = s - Db_x$, 其中 $v = b_y - b_x$ 。选择频道外的像素在密写过程中未被改动, 因此在 v 中至少有 $n-k$ 个为零的元素, 即 $v_i = 0, i \notin J$ 。同时矩阵 D 中所有对应 v_i 的列可以被删除, 随后式(1)可以改写为:

$$D'v' = s' \quad (2)$$

其中 D' 是一个大小为 $m \times k$ 矩阵, s' 是一个 k 维向量, 且 $s' = s - Db_x$, v' 也是一个 k 维向量, 因此式(2)是一个包含 m 个方程和 k 个未知数的线性方程组。密写时, 发送者根据式(2)解出 v' , 随后计算出 b_y , 而接收者只需要根据式(1)计算出秘密信息 s 即可。

2.2 基于人眼视觉系统的密写

由于小波变换具有可以将信号的空间频率局部化的特性, 所以小波变换对于模拟人眼视觉系统来说非常适合。对载体图像做 4 层小波变换, 令 I_l^{θ} 表示小波变换后的各个子带, 其中 $l = \{0, 1, 2, 3\}$, 分别表示各层子带; $\theta \in \{0, 1, 2, 3\}$, 分别表示水平子带、对角子带、垂直子带和低频子带, 如图 1(a) 所示。图 1(b) 是例图 lena 与例图进行 3 层小波变换后的结果。利用图像的小波变换模拟人眼视觉系统, 一般要遵循如下几个原则^[4]: 人眼对小波变换后高分辨率子带的区域不敏感; 人眼对过亮或过暗的区域不敏感; 人眼对纹理复杂的区域不敏感, 对边缘敏感。

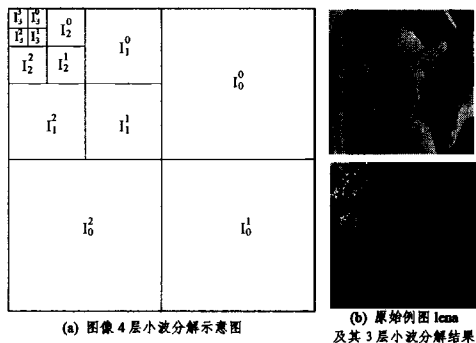


图1 图像 4 层小波分解示意图及例图分解结果

2.3 基于人眼视觉系统的湿纸密写方法

假设 S 为编码后得到的秘密信息, $\hat{I}_l^{\theta}(i, j)$ 为图像密写后

的各个子带, 则我们设计本文密写方法所使用的嵌入公式:

$$\hat{I}_l^{\theta}(i, j) = I_l^{\theta}(i, j) + \alpha \omega_l^{\theta}(i, j) Z_l^{\theta}(i, j) S_l^{\theta}(i, j) \quad (3)$$

其中 α 为强度系数, 用以调整秘密信息的强度; $\omega_l^{\theta}(i, j)$ 为权重系数, 可以根据人眼视觉系统特性和小区域内的小波系数对噪声的敏感程度确定; Z 表示湿纸密写中的选择频道。根据前面提到的人眼视觉系统特性我们知道, 纹理复杂、细节较多的区域比纹理简单、细节较少的区域有更大的视觉冗余, 因此我们在 3 个高频子带内选择部分小波系数嵌入秘密信息。判断图像纹理复杂与否有很多方法, 比如计算图像的局部方差, 但在小波域中, 我们考虑下式:

$$K(l, i, j) = \sum_{k=0}^{3-l} \frac{1}{16^k} \sum_{\theta=0}^3 \sum_{y=0}^{2^k-1} \left[I_{k+l}^{\theta}(y + \frac{i}{2^k}, x + \frac{j}{2^k}) \right]^2 \times \text{Var} \left\{ I_3^{\theta} \left(1 + y + \frac{i}{2^{3-l}}, 1 + x + \frac{j}{2^{3-l}} \right) \right\}_{x=0,1}^{y=0,1} \quad (4)$$

式(4)反映了图像在 2×2 邻域内的纹理复杂程度, 其中前边的因子计算了图像小波域的所有细节子带的局部平均方差, 而第二个因子是对应低频子带的平均方差。由于人眼对于纹理区域的边缘处有很高的敏感度, 因此我们将 2 个因子相乘作为小波域内湿纸密写的选择频道, 结合适当的阈值它可以保证所有的秘密信息位都被嵌入到图像纹理相对复杂的区域, 在很大程度上提高密写的隐蔽性。

假设载体图像长度为 $i \times j$, 秘密信息长度为 m , 根据式(1), 我们需要大小为 $m \times (3ij/4)$ 的矩阵 D 。改变式(1)为

$$D_0 x_0 = s \quad (5)$$

密写过程中, 通过式(5)可以解出 x_0 , 是一个 $(3ij/4) \times 1$ 的向量, 对应 3 个最大高频子带中的小波系数。随后根据式(4)计算出可以用来嵌入秘密信息的小波系数 $x_j \in \{0, 1, \dots, 255\}$, $j \in J \subset \{1, 2, \dots, n\}$ 且 $|J|=k$, 也就是确定了小波域湿纸密写的选择频道。

根据式(3)嵌入秘密信息, 权重系数 $\omega_l^{\theta}(i, j)$ 可以参考人眼视觉系统的特性的研究^[1,4] 确定。我们通过下面的公式计算^[1]:

$$\omega_l^{\theta}(i, j) = \Theta(l, \theta) \cdot \Lambda(l, i, j) \cdot \Xi(l, i, j)^{0.2} \quad (6)$$

$\omega_l^{\theta}(i, j)$ 的 3 个因子分别反映了各个子带的小波系数对噪声的敏感度、局部明亮度以及局部纹理的复杂程度, 相乘后得到我们最终密写时需要的权重系数 $\omega_l^{\theta}(i, j)$ 。接下来将 x_0 中非选择频道的位置替换为原始小波系数 $I_l^{\theta}(i, j)$, 随后用含密的小波系数 $\hat{I}_l^{\theta}(i, j)$ 替换其他元素, 得到 x_0' , 进行小波反变换后可以得到含密图像。接收者提取秘密信息时只需根据式(1), 将含密图像的 3 个高频子带的小波系数 x_0' 与矩阵 D_0 相乘即可。

下面我们将讨论式(5)解的存在性, D_0 是一个 $m \times (3ij/4)$ 大小的矩阵, 若 $\text{rank}(D_0) = m$, 则对于任意的秘密信息 s , 式(5)均有解。对于二进制矩阵 D , $\text{rank}(D) = r$ 的概率可以写成^[5]:

$$P_{m \times k}(r) = 2^{r(m+k-r)-mk} \prod_{i=0}^{r-1} \frac{(1-2^{i-m})(1-2^{i-k})}{(1-2^{i-r})} \quad (7)$$

令 $\pi(n) = \prod_{i=1}^n (1-2^{-i})$, $\pi(n)$ 是一个单减函数, 并且收敛于 $\lim_{n \rightarrow \infty} \pi(n) = \pi(\infty) = 0.2889 \dots$ ^[3], 将 $r=m$ 和 $\pi(n)$ 代入式(7)后我们得到:

$$P_{m \times k}(m) = \frac{\pi(k)}{\pi(k-m)} \quad (8)$$

当 $m < k$ 且逐渐减小时,式(8)以极快的速度收敛于 1,实际小波域中 $k=3ij/4$,并且秘密信息的长度 m 远小于 k ,因此绝大多数情况下式(5)有解。

最后总结小波域内湿纸密写的步骤如下:

步骤 1 使用发送方和接受方共享的随机数字发生器种子生成矩阵 D_0 ;

步骤 2 根据式(5)求解 x_0 ;

步骤 3 根据式(4)依次计算小波系数的局部纹理复杂程度;

步骤 4 确定选择频道(selection channel),满足条件 $K(l, i, j)$ 大于既定阈值;

步骤 5 根据式(3)嵌入秘密信息,其中权重系数的计算参照式(6);

步骤 6 将 x_0 中属于选择频道的位置替换为含密的小波系数,非选择频道的位置替换为原始小波系数;

步骤 7 做小波反变换得到含密图像,完成密写。

3 实验结果

3.1 密写后图像质量

图 2 是例图经过本文所提出的密写方法加密的实验结果,密写率为 50%,随机生成秘密信息。可以看出在人眼的观察下,很难发现其中的差异。



图 2 例图 lena 实验结果

湿纸密写的特点是有很好隐蔽性。进一步考虑图像的峰值信噪比(PSNR),可以估计图像在密写中的被破坏程度。表 1 是部分标准测试例图的实验结果。

表 1 部分例图的峰值信噪比计算结果

密写率	Aerial	Baboon	Barb	Boat	Couple
15%	41.20	40.98	42.84	43.97	39.78
25%	37.95	37.85	38.74	39.46	37.26
40%	35.17	34.22	35.29	37.34	34.31
密写率	Elain	Frog	Goldhill	Lena	Peppers
15%	39.09	38.50	40.71	43.67	42.34
25%	36.16	36.23	36.67	38.63	38.23
40%	34.12	33.04	32.41	36.61	35.78

从表 1 可以看出,密写率为 15% 的含密图像,峰值信噪比可以保持在 45dB 左右。随着密写率提高到 40%,峰值信噪比仍然维持在 33dB 至 38dB 之间,属于人眼可以接受的范围内。

3.2 主动攻击实验结果

(1)JPEG 压缩攻击实验:将图 2(b)所示的秘密信息嵌入到图 2(a)的原始例图中,含密图像的 PSNR 值为 37.6788。随后将含密图像 JPEG 压缩,从压缩后的图像中提取的秘密信息图像及相关参数如表 2 所列。

从表 2 中可以看出,当压缩比为 5.0 时,提取出的秘密信息非常清晰,只有很少的噪声。压缩比增加到 9.6 时,噪声增加并且字体部分出现小部分失真。压缩比继续增加到 13.3,

字体开始变得模糊,但人眼仍然可以清楚地分辨。将压缩比增加到 18.3 后,提取出秘密信息的强度进一步弱化,但结合适当的图像处理方法,依然可以分辨秘密信息的内容。实际上, JPEG 压缩的品质因子很少低于 75,并且嵌入的秘密信息强度过大将会降低密写的隐蔽性。本节的 JPEG 压缩实验结合前一小节的 PSNR 实验证明,在保持高隐蔽性的同时,本文的密写方法依然有很好的鲁棒性。

表 2 JPEG 压缩攻击实验结果

压缩品质因子	90	70
压缩比	5.0	9.6
提取出的秘密信息		
相关系数	0.9822	0.9002
压缩品质因子	50	30
压缩比	13.3	18.3
提取出的秘密信息		
相关系数	0.8216	0.7533

(2)其他攻击实验结果:除 JPEG 压缩外,还有很多主动密写攻击的方法^[6],我们选择其中常用的方法进行实验,实验结果如表 3 所列。

表 3 其他攻击实验结果

攻击方法	中值滤波	添加高斯噪声
攻击参数	3×3 窗口	均值 0.5 方差 0.1
提取出的秘密信息		
相关系数	0.9768	0.9808
攻击方法	添加椒盐噪声	中心剪切
攻击参数	强度 0.1	剪切窗口 1/4
提取出的秘密信息		
相关系数	0.9685	0.9153

表 3 给出了基于一些常用的密写攻击方法的实验结果。其中中值滤波攻击实验用了 3×3 大小的窗口,提取出的秘密信息由于滤波造成字体边缘平滑,但依然可以清晰分辨其内容。添加噪声的实验中,我们使用均值为 0.5、方差为 0.1 的 Gaussian 噪声和强度为 0.1 的椒盐噪声,提取出的秘密信息在噪声的影响下出现了噪声像素点,并且文字部分的灰度有不同程度的降低。

密写的主动攻击将直接考验密写方法的鲁棒性。一些空域的密写方法在经过主动攻击后,往往无法提取出强度足够的秘密信息。而其他变换域的密写方法,在加强鲁棒性的同时,又由于嵌入的秘密信息对图像的破坏较大,容易被一些密写分析方法攻击。而本文提出的基于人眼视觉系统的湿纸密写方法旨在对密写的鲁棒性和隐蔽性中寻找一个适当的平衡点。实验中,这种新的密写方法显示出很好的性能。

结束语 本文基于对湿纸密写模型和基于人眼视觉特性的密写方法的研究,在小波域内根据人眼对于图像不同特性区域的敏感度不同的原则引入了选择通道的概念,并提出了一种新的基于人眼视觉特性的湿纸密写算法。这种算法的特点在于在秘密信息传递过程中接收者并不需要知道发送一方

(下转第 296 页)

ORL 数据库包含了由 40 个人组成的 400 幅人脸图像, 每人包含 10 幅图像。图像的分辨率为 64×64 , 这些图像的变化主要在于面部轮廓及表情、人脸尺度、人脸位置、少许倾斜、少许遮掩和轻微的光照变化。实验中, 每个人前 5 幅图像作为训练样本, 后 5 幅图像作为测试样本。对于需要利用 PCA 方法预先进行维数约减的方法, 选择保留 95% 能量的主元数目, 各种算法在 ORL 数据库上识别率与鉴别维数之间的关系如图 5 所示。表 1 列出了实验中各种方法最高识别率及其对应的鉴别矢量数目以及消耗的时间。

4.2 CMU PIE 数据库

卡耐基-梅隆大学(CMU)的 PIE 数据库包含了 68 个人组成的 41368 张人脸图像。绝大多数人平均每人包含的图像数目为 170 张。这些图像充分反映了人脸的位置、光照和表情的变化。CMU PIE 是一个较大的人脸图像数据库, 本实验选用的图像为 5 个接近正面的人脸子集, 分别是 C05, C07, C09, C27 和 C29, 这些子集中的图像包含了充分的光照和表情变化。实验中, 选择每类的前 5 幅图像作为训练样本, 接着的 5 幅作为测试样本, 各算法在 PIE 数据库上识别率与鉴别维数之间的关系如图 6 所示。表 2 列出了实验中各种方法最高识别率及其对应的鉴别矢量数目以及消耗的时间。

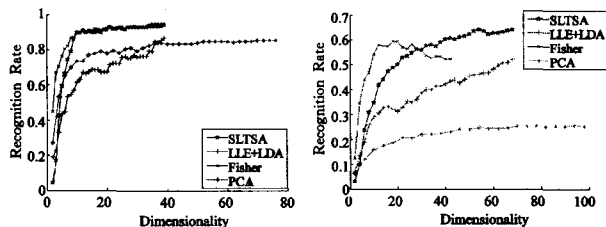


图 5 不同方法在 ORL 数据库上识别率与鉴别维数之间的关系曲线

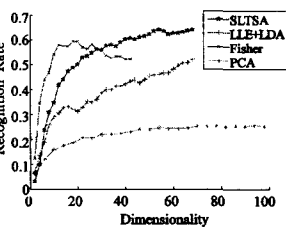


图 6 不同方法在 PIE 数据库上识别率与鉴别维数之间的关系曲线

表 1 图 5 中不同方法在 ORL 数据库上最高识别率及鉴别维数和消耗的时间之间的关系

Approach	Rate (%)	Max Dim (Reduced)	Consumed time (s)
Eigenfaces (PCA)	85.50	76 (70)	35.953
Fisherfaces (PCA+LDA)	94.00	39 (29)	35.016
LLE+LDA	87.00	39 (39)	27.672
SLTSA	94.50	39 (35)	41.094

结束语 从以上人脸识别的试验可以看出, 将局部切空间排列(LTSA)和线性判别分析(LDA)相结合的算法 SLTSA 能够取得较好的识别率, 这主要是因为将这两种方法相结合, 既可以利用 LTSA 学习出数据集的低维流形结构, 又可

以利用 LDA 将数据集投影到最佳特征空间中进行分类识别。从公开人脸数据库 ORL 和 PIE 的试验中可以看出, 新算法 SLTSA 在这两个数据库上的识别率都高于其它 3 种算法, 而且样本的复杂度越高, 这种优势会越来越明显, 如在 ORL 数据库中, 由于 ORL 数据库中的样本变化不剧烈, 因此 4 种算法都取得了较好的识别效果, SLTSA 也只会比 Fisher 算法的识别率高 0.5%, 但在复杂的 PIE 数据库上 SLTSA 的识别率比 Fisher 高 4.71%。但从消耗的时间看, SLTSA 算法的消耗时间比较多, 且随着样本复杂度的增加而成倍数增长, 这主要是因为 LTSA 算法中, 嵌入维数和近邻点数目有关, 为了得到合适的嵌入维数, 近邻点的数目会很大, 这就增加了计算的复杂度。

表 2 图 6 中不同方法在 PIE 数据库上最高识别率及鉴别维数和消耗的时间之间的关系

Approach	Rate (%)	Max Dim (Reduced)	Consumed time (s)
Eigenfaces (PCA)	25.59	100(96)	71.734
Fisherfaces (PCA+LDA)	59.41	42 (20)	47.484
LLE+LDA	52.35	68 (68)	161.422
SLTSA	64.12	68 (54)	121.531

参考文献

- [1] Jolliffe I T. Principal Component Analysis [M]. New York: Springer, 1986
- [2] 余晓梅, 徐丹. 基于外观的子空间人脸识别方法研究[J]. 计算机应用研究, 2007; 1001-3695
- [3] Belhumeur P N, Hespanha J P, Kriegman J. Eigenfaces vs fisherfaces recognition using class specific linear projections[J]. IEEE Trans. Pattern Anal Mach Intell, 1997, 19(7): 711-720
- [4] Martinez A M, Kak A C. PCA versus LDA[J]. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(2): 228-233
- [5] Swets D, Weng J. Using discriminant eigenfeatures for image retrieval[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(8): 831-836
- [6] 黄启宏, 刘钊. 流形学习中非线性维数约简方法概述[J]. 计算机应用研究, 2007; 1001-1369
- [7] 罗四维, 赵连伟. 基于谱图理论的流形学习算法[J]. 计算机研究与发展, 2006; 1173-1179
- [8] Zhang Zhenyue, Zha Hongyuan. Linear low-rank approximations and non-linear dimensionality reduction [J]. Science in China Series A-Mathematics, 2005, 35(3): 273-285
- [9] Zhang Zhenyue, Zha Hongyuan. Principal manifolds and non-linear dimensionality reduction via tangent space alignment [J]. SIAM Journal of Scientific Computing, 2004, 26(1): 313-338
- [10] Zhang Tianhao, Yang Jie, Zhao Deli, et al. Linear local tangent space alignment and application to face recognition [J]. Neurocomputing, 2007, 70: 1547-1553
- [11] Pang Yanwei, Liu Zhengkai, Yu Nenghai. A new nonlinear feature extraction method for face recognition [J]. Neurocomputing, 2006, 69: 949-953

(上接第 267 页)

所用的密写方法, 而只需通过固定的方法提取秘密信息, 很大程度上减少了传递过程中的共享信息, 提高了密写的安全性。另外, 本算法还同时保持了小波域内密写算法鲁棒性好的特点, 从而在安全性和鲁棒性中达到了一个较为平衡的支点, 通过实验证明了本方法是一种非常实用的密写方法。

参考文献

- [1] Barni M, Bartolini F, Piva A. Improved Wavelet-based Watermarking Through Pixel-wise Masking[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(5)

- [2] Xie Gui, Shen Hong. Toward Improved Wavelet-based Watermarking Using the Pixel-Wise Masking Model [C]// Image Processing 2005. ICIP 2005. IEEE International Conference. CA, USA, Sept. 2005, 1: 689-692
- [3] Fridrich J, Goljan M, Lisoněk P, et al. Writing on Wet Paper [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 53(10)
- [4] Lewis A S, Knowles G. Image compression using the 2-D wavelet transform [J]. IEEE Trans. Image Processing, 1992, 1: 244-250
- [5] Brent R P, Gao S, Lauder A G B. Random Krylov spaces over finite fields [J]. Discrete Math., 2003, 16(2): 276-287
- [6] 许文丽, 苏万力, 等. 基于混沌置乱和混合变换域的扩频水印方案[J]. 计算机科学, 2007, 34(7): 248-251