

# 结合网格编码的固定鲁棒性嵌入水印算法

樊晓华<sup>1)</sup> 肖俊<sup>1),2)</sup> 王颖<sup>1),2)</sup>

<sup>1)</sup>(中国科学院研究生院,北京 100049) <sup>2)</sup>(福建师范大学网络安全与密码技术重点实验室,福州 350007)

**摘要** 将网格编码技术与固定鲁棒性嵌入相结合提出了一种新的网格编码水印算法。该算法将带边信息的编码和带边信息的嵌入技术相结合,首先运用脏纸网格对水印信息进行编码,然后计算使水印系统归一化相关检测系数降到给定阈值时所能抵抗的噪声幅度,并将其作为鲁棒性参数,在恒定的鲁棒性参数下利用规格化正交嵌入水印,用维特比算法进行水印检测。实验结果表明,该算法有效地提高了基于网格编码的数字水印系统抵抗高斯噪声和幅度缩放的能力。

**关键词** 数字水印 网格编码 维特比译码 脏纸代码 边信息

中图法分类号:TP309 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)10-1979-04

## A Watermark Algorithm with Constant Robustness and Trellis Codes

FAN Xiao-hua<sup>1)</sup>, XIAO Jun<sup>1),2)</sup>, WANG Ying<sup>1),2)</sup>

<sup>1)</sup>(The Graduated University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

<sup>2)</sup>(Key Laboratory of Network Security and Cryptology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007)

**Abstract** In this paper, a new trellis coded watermarking algorithm of trellis codes combine with constant robustness embedding is proposed. In the algorithm, both informed coding and informed embedding are used. The watermark is encoded by a dirty-paper trellis encoder. Then the strength of the noise to be added to reduce the normalized correlation coefficient to a given threshold is computed, which is taken as a constant robustness parameter. The watermark signal is embedded into the cover work by Gram-Schmidt orthogonal algorithm under the condition of the constant robustness parameter, and Viterbi algorithm is used to detect and extract the watermarked signal. Experimental results indicate that the proposed algorithm can improve the robustness to white Gaussian noise and amplitude scaling.

**Keywords** digital watermarking, trellis encoding, Viterbi Decoding, dirty paper codes, side information

## 1 引言

随着数字水印技术的飞速发展<sup>[1]</sup>,作为影响水印系统鲁棒性的关键因素之一,水印结构<sup>[2]</sup>受到了研究者的关注,出现了基于网格编码的数字水印。

基于网格编码的数字水印<sup>[3]</sup>从研究水印结构入手,将网格编码<sup>[4,5]</sup>应用于数字水印生成过

程中,通过设计编码方案增大水印信号间的欧氏距离,以降低水印系统的误码率。目前关于网格编码在水印系统中的应用相对较少,而且主要集中在网格编码技术的应用和网格结构分析上<sup>[3,6-8]</sup>,其编码信息的嵌入采用的都是盲嵌入策略。

综合考虑了影响水印系统鲁棒性的两个关键因素——水印结构和嵌入策略,并在此基础上将网格编码技术与固定鲁棒性嵌入策略相结合,提出了一种鲁棒性更优的水印算法。

基金项目:国家自然科学基金项目(60772155);北京市自然科学基金项目(4082029);福建省高校重点实验室开放课题(07A006)

收稿日期:2008-07-11;改回日期:2008-07-31

第一作者简介:樊晓华(1979~),男,中国科学院研究生院电子与通信专业硕士研究生。主要研究领域为数字水印技术。

E-mail: xiaojun@gucas.ac.cn

## 2 算法的基本原理

### 2.1 网格编码数字水印原理

由于数字水印系统可视为以数字通信系统为模型的系统,水印信息可视为信道中传输的信号,这就涉及对水印信息进行编码<sup>[3]</sup>。常见的对水印信号进行编码的方法主要有直接的信息编码、多符号信息编码和纠错编码等。网格编码是一种运用纠错码对信息进行有效的编码的思想。

用图 1 所示的网格图来描述网格编码的过程<sup>[3]</sup>。每一比特信息对应一条从网络的 A0 节点(0 时刻状态)到右边的一个节点(L 时刻的任意状态)的路径。从一个状态节点到另一个状态节点的转移对应编码后的 1 比特信息,如果对应的比特是“1”则按实线路径转移,如果对应的比特是“0”则按照虚线路径转移。

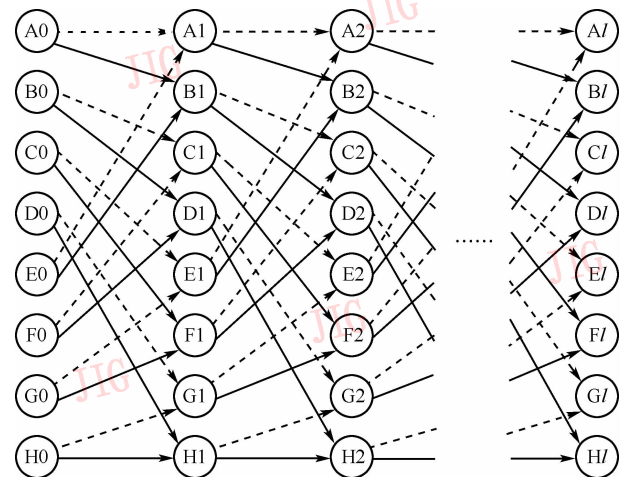


图 1 常规八状态网格图  
Fig. 1 Regular trellis with 8 states

编码时网格中的每一条连线都被映射为一个随机产生的长度为  $N$  的向量,这样一个给定码字产生的信息标志,就对应于该码字的路径上全部连线参考标志相加。这个向量作为水印模板,可应用于水印的嵌入和提取算法中。由于载体作品并不参与编码过程,所以称之为盲编码。

在 1983 年 Costa 提出的脏纸代码<sup>[6]</sup>的启发下,出现了含边信息的编码<sup>[7]</sup>,即每一比特信息有多个不同的码向量表示,在嵌入时利用边信息在多个码向量中选择引起作品失真最小的码向量嵌入。利用网格编码创建脏纸代码的方法是让网格的每一状态有至少两条输入和输出的连线<sup>[7]</sup>,图 2 显示的是一个有 8 个状态且每个状态有 4 条连线的网格。已有

研究表明采用 64 个状态每状态 64 条连线的网格对水印信息进行编码可以得到最佳性能<sup>[9]</sup>。

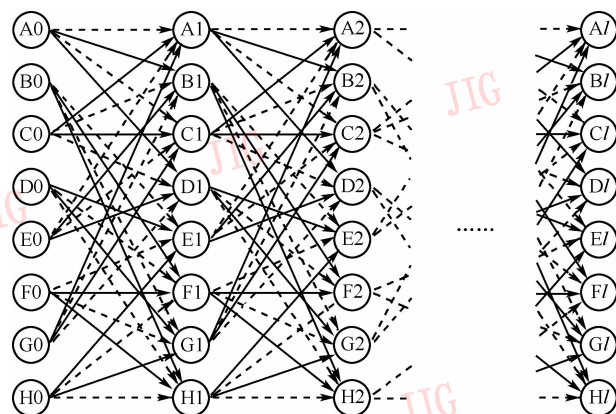


图 2 脏纸网格  
Fig. 2 Trellis of dirty paper

### 2.2 基于网格编码的固定鲁棒性嵌入算法

固定鲁棒性嵌入是一种含边信息的嵌入,其基本思想是选取归一化相关下的噪声幅度作为鲁棒性度量<sup>[10,11]</sup>,并在恒定的鲁棒性估值下进行嵌入。

水印标志能够对抗的噪声总量估计由以下方法得出<sup>[3]</sup>:首先如果把一个噪声向量  $n$  加到含水印向量  $v_w$  上,并假设噪声向量与水印向量  $w_r$  和含水印向量  $v_w$  均正交,则加噪后的向量与  $w_r$  的归一化相关  $z_{nc}$  可用下式描述:

$$z_{nc}(v_w + n) \approx \frac{v_w \cdot w_r}{\sqrt{v_w \cdot v_w + n \cdot n} |w_r|} \quad (1)$$

然后计算  $z_{nc}(v_w + n)$  降到阈值  $\tau_{nc}$  以下的噪声幅度  $R = \sqrt{n \cdot n}$ ,而  $R^2$  允许的最大值就是水印系统所能抵抗的噪声攻击幅度。

将含边信息的网格编码和含边信息的固定鲁棒性嵌入相结合,提出一种新的含边信息算法,其原理框图如图 3 所示,水印嵌入过程可分以下 6 步进行:

- (1) 将未加水印的图像分成若干个  $8 \times 8$  的块并对每块进行离散余弦变换;
- (2) 从变换后的图像中提取向量  $v_0$ 。提取的方法是取每一个  $8 \times 8$  变换块的低频系数按既定的排序方法排成一个向量;
- (3) 生成脏纸网格,将水印信息  $m$  输入到脏纸网格中进行编码,得到水印向量  $w_r$ ,  $w_r$  是长度与提取向量  $v_0$  相同的伪随机序列;
- (4) 根据固定鲁棒性原则和 Gram-Schmidt 规格

化正交原则寻找含水印向量的集合<sup>[3]</sup>,即首先用阈值  $\tau_{nc}$  代替式(1)中的  $z_{nc}(\mathbf{v}_w + \mathbf{n})$  可解出能够抵抗的最大噪声幅度  $R_{max}^2$

$$R_{max}^2 = \left( \frac{\mathbf{v}_w \cdot \mathbf{w}_r}{\tau_{nc} |\mathbf{w}_r|} \right)^2 - \mathbf{v}_w \cdot \mathbf{v}_w \quad (2)$$

然后运用规格化正交原则构造  $\mathbf{v}_0$  与  $\mathbf{w}_r$  的 2 维平面

$$\begin{cases} \mathbf{X} = \frac{\mathbf{w}_r}{|\mathbf{w}_r|} \\ \mathbf{Y} = \frac{\mathbf{v}_0 - \mathbf{X}(\mathbf{v}_0 \cdot \mathbf{X})}{|\mathbf{v}_0 - \mathbf{X}(\mathbf{v}_0 \cdot \mathbf{X})|} \end{cases} \quad (3)$$

以确定保持  $R_{max}^2$  不变条件下的含水印向量  $\mathbf{v}_w$  的集合,由式(2)可知  $\mathbf{v}_w$  是双片双曲面的一半。

(5)在  $\mathbf{v}_w$  的集合中进行穷举搜索,得到与  $\mathbf{v}_0$  欧

氏距离最小的向量,此向量即为含水印向量  $\mathbf{v}_w$  ;

(6)按照从变换图像中提取  $\mathbf{v}_0$  相反的方法将  $\mathbf{v}_w$  映射回变换图像中,并进行反离散余弦变换得到含水印图像。

水印提取过程相对简单,首先根据嵌入过程的前两步从作品中提取一个向量  $\mathbf{v}$ ;然后以归一化相关系数为检测度量,在与嵌入算法中所用网格相同的网格结构中执行维特比译码算法<sup>[5]</sup>。计算  $\mathbf{v}$  与网格中每一步迭代对应状态中所有参考标志的相关系数,并取相关系数最大的一项,根据所得的最高相关系数及阈值,判断所嵌入的水印信息,而算法执行到网格末尾即得到解码的所有水印信息。

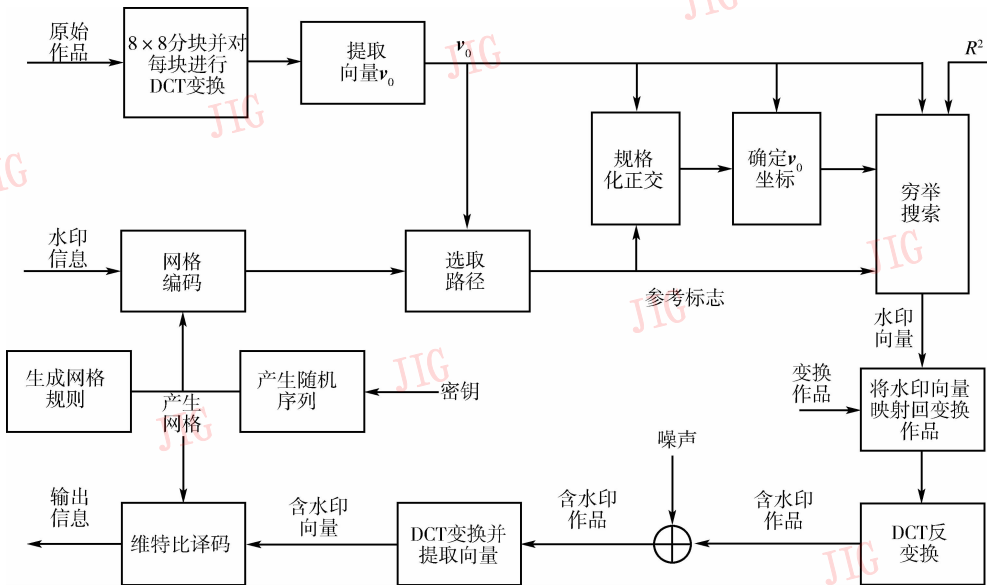


图 3 算法框图

Fig. 3 Flow chart of proposed algorithm

### 3 实验结果及分析

这里仅仅给出以  $256 \times 256$  大小的 Lena 灰度图像为载体(如图 4(a)所示),以长度为 94 的二值伪随机序列作为水印的实验结果。为了对水印序列进行纠错编码,在序列的最后加上两个 0,即水印长度为 96bits。

实验中采用的噪声幅度参数为  $R^2 = 50$ ,归一化相关检测阈值为  $\tau = 0.33$ ,得到的含水印图像如图 4(b)所示,其峰值信噪比为 40.25dB。在无攻击的情况下,算法能够对水印信息进行有效解

码,得到的水印序列的误码率为 0,即有效性较好。



(a) (b)

图 4 原始图像与含水印图像

Fig. 4 Original image and watermarked image

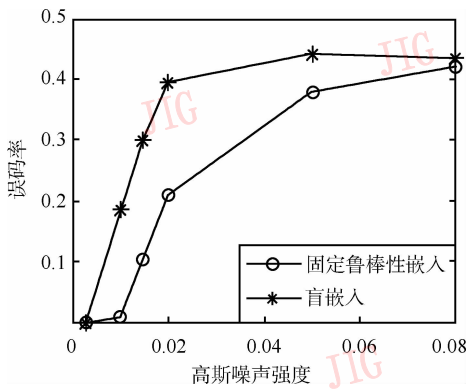


图 5 两种算法对抗高斯噪声的误码率比较  
Fig. 5 BER of two algorithms under Gas noise

在使得盲嵌入算法<sup>[7]</sup>与固定鲁棒性嵌入算法具有相同嵌入失真的情况下,首先对算法对抗高斯噪声的鲁棒性进行了测试,如图 5 所示。由图 5 可见,在不同强度的高斯噪声下,固定鲁棒性嵌入的鲁棒性明显优于盲嵌入算法。

两种算法在其他攻击下的鲁棒性实验结果如表 1 所示。从表 1 可见,大部分攻击下本文算法的性能优于盲嵌入的网格编码水印系统。同时,由于解码中采用了相关性,两种算法都能有效地对抗幅度缩放的攻击。

表 1 常见攻击下两种算法的鲁棒性比较(误码率)

Tab. 1 BER comparison under common attacks

攻击类型	盲嵌入	固定鲁棒性嵌入
放大两倍	0	0
缩小 1/2	0.114 6	0
4 领域平均	0.020 8	0
JPEG 压缩 20	0.239 6	0
3 × 3 窗口中值	0	0.020 8
3 × 3 空域低通	0.239 6	0
高斯噪声攻击	0.197 9	0.010 4
裁减 1/8	0.156 2	0.031 2
幅度缩放 0.5	0	0
幅度缩放 2	0	0

根据以上实验结果及其他实验可知,基于固定鲁棒性嵌入的网格编码水印系统对常见攻击具有较好的鲁棒性。

## 4 结 论

将网格编码技术与固定鲁棒性嵌入相结合提出了一种新的网格编码水印算法。这一算法不仅运用了含辅助信息的编码,同时也使用了含辅助信息的嵌入技术。实验结果表明,该算法提高了水印系统的鲁棒性,特别是对抗高斯噪声攻击的鲁棒性。同时由于在检测算法中用到了相关性,算法对幅度缩放攻击也有着较好的性能。

## 参考文献 (References)

- 1 Wang Ying, Xiao Jun, Wang Yun-hong. Digital Watermarking Principles and Techniques[M]. Beijing: Science Press, 2007: 1 ~ 6. [王颖, 肖俊, 王蕴红. 数字水印原理与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1 ~ 6.]
- 2 Feng Tao, Wang Cheng-fa, Han Ji-qing. Research on the property of robust watermarking structure [J]. Chinese Journal of Computers, 2004, 27(7): 971 ~ 976. [冯涛, 王承发, 韩纪庆. 稳健数字水印结构的性质研究[J]. 计算机学报, 2004, 27(7): 971 ~ 976.]
- 3 Cox I J, Miller M L. Digital Watermarking[M]. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2001: 97 ~ 101.
- 4 Cao Zhi-gang, Qian Ya-sheng. Principles of Modern Communications [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1992: 407 ~ 416. [曹志刚, 钱亚生. 现代通信原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1992: 407 ~ 416.]
- 5 Viterbi A J. CDMA: Principles of Spread Spectrum Communications [M]. Boston, Canada: Addison Wesley Longman Inc., 1995.
- 6 Costa M. Writing on dirty paper [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1983, 29(3): 439 ~ 44.
- 7 Miller G L, Doërr G, Cox I J. Dirty-paper trellis codes for watermarking[A]. In: Proceedings of the IEEE on Image Processing [C], Princeton, NJ, USA, 2002, 129 ~ 132.
- 8 Wang C, Doërr G, Cox I J. Toward a better understanding of dirty Paper trellis codes[A]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing [C], Toulouse, 2006: 233 ~ 236.
- 9 Miller M L, Doërr G J, Cox I J. Applying informed coding and embedding to design a robust, high capacity watermark [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(6): 792 ~ 807.
- 10 Cox I J, Miller M L, McKellips A. Watermarking as communications with side information[J]. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(7): 1127 ~ 1141.
- 11 Miller M L, Cox I J, Bloom J A. Informed embedding: Exploiting image and detector information during watermark insertion[A]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing [C], Vancouver, BC, Canada, 2000: 1 ~ 4.