

文章编号: 1001-8360(2005)01-0045-07

软判决检测的鲁棒图像水印方案

杨文学, 桑茂栋, 赵 耀
(北京交通大学 信息科学研究所, 北京 100044)

摘 要: 数字水印技术是现代版权保护的手段之一,而数字水印系统的鲁棒性是其能够起到版权保护作用的必要条件,也是当前的研究热点。本文提出了一种 Turbo 编码的图像水印的软判决检测算法,在不改变原有的嵌入算法的前提下,只需在接收端采用软判决检测算法就能有效地提高水印系统的鲁棒性。在本文提出的方案中,首先把原始水印信息进行 Turbo 编码,在图像 DFT 变换域中,修改两个相同频点系数的大小关系来嵌入经过编码的水印信息。在检测水印时,采取软判决检测算法提取用于 Turbo 译码的软输入信息,可有效地提高系统的鲁棒性。实验结果表明,软判决检测的比特错误率普遍低于硬判决检测的比特错误率,在高斯噪声情况下,甚至能低 0.169。

关键词: 数字水印; 软判决检测; Turbo 码; 离散傅立叶变换

中图分类号: TN911 **文献标识码:** A

Soft-decision Detection Robust Image Watermarking Scheme

YANG Wen-xue, SANG Mao-dong, ZHAO Yao
(Institute of Information Science, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: Digital watermarking technology is one of the means of copyright protection. Robustness of a digital watermarking system is a necessity to protect digital works' copyrights, and it is the hot spot of research at present. In this paper, a soft detection algorithm for Turbo-coded robust image watermarking scheme is proposed. Robustness of a watermarking system is improved without any change to watermark embedding when we apply the soft detection algorithm at the receiving end. Watermark information is encoded by Turbo-codes firstly and then is embedded into the original image in the DFT domain. For each bit of the coded information, a pair of points with the same frequency is pseudo-randomly selected and modified. During watermark detection, softinput messages for Turbo decoding are collected by adopting the soft-decision detection algorithm, which improves the robustness of the watermarking system effectively. Experimental results indicate that the Bit Error Rate (BER) of soft-decision detection femains lower than that of hard-decision detection, even 0.169 lower in gaussian noises.

Key words: digital watermark; soft-decision; turbo-codes; Discrete Fourier ransform (DFT)

数字水印(Digital Watermarking)是指不可察觉地嵌入在数字产品(如图像、视频、音频、文本等)中的数字信号,当发生版权纠纷时,始作者可以通过相应的算法从数字产品中提取出该数字水印,验证版权的归属,确保数字产品著作权人的合法权益。根据宿主数据的不同,可以把数字水印分为图像水印、视频水印、

音频水印、文本水印等,本文主要讨论的是图像数字水印。

根据水印加载方式的不同,图像水印可以分为空间域嵌入算法和变换域嵌入算法。空间域算法是根据某种方法把水印信号直接嵌入到原始图像的某些像素上的一类水印嵌入算法^[1,2]。空间域算法具有算法简单,易于实现等特点,但在空间域嵌入的水印信号容易被一些有损的信号处理所破坏。变换域算法是将原始图像进行正交变换后,在正交变换系数中嵌入水印数据,然后再经正交反变换为水印图像。常见的正交变

收稿日期: 2003-12-22; 修回日期: 2004-04-19
基金项目: 国家自然科学基金项目(60172062);
霍英东青年教师基金项目(81053);
留学回国人员科研启动基金资助
作者简介: 杨文学(1978—),男(苗族),湖南城步人,硕士研究生。
E-mail: wenxueyang@sina.com

换有离散傅立叶变换(DFT)、离散余弦变换(DCT)、小波变换(WT)以及沃什哈达马变换(WHT)等。典型的嵌入方式有 COX 提出的扩谱水印算法等^[3~5]。与空间域算法相比,变换域水印算法具有较好的鲁棒性和较高的图像质量。本文提出的方案是在图像 DFT 的中频系数幅度值上嵌入水印信号的鲁棒水印算法。

为了加强水印系统的抗攻击能力,大多数多比特水印方案选择将原始水印信号经前向纠错码保护后再嵌入到原始图像中。前向纠错码一般采用卷积码, BCH 码,雷德-所罗门码(RS)等。虽然卷积码具有码组序列错误概率最小的维特比译码算法^[6],但维特比译码算法并不是最佳的比特错误概率最小的译码算法。BCH 码和 RS 码虽然能够纠正信道中出现的少量随机错误或者突发错误,但当信道同时存在随机错误和突发错误时,BCH 码和 RS 码的译码性能都不是很好^[7]。

自 1993 年由 Berrou C. 等人提出 Turbo 码的概念以来^[8,9],Turbo 码被认为是迄今为止最佳的信道编码方法,其译码性能接近香农理论极限。与其他信道码相比,Turbo 码的最大优势在于能同时纠正信息比特在传输过程中可能同时出现的随机错误和突发错误。在一个数字水印系统中,可以把水印信号所遭受的攻击等效为信道干扰,经过前向纠错码保护的水印信号在提取时会同时出现随机错误和突发错误。这样,把 Turbo 码作为前向纠错码用在水印系统中,应能达到更好的效果。

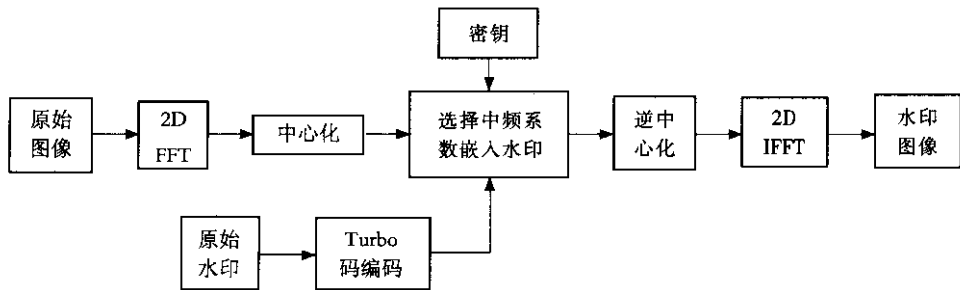
在通信系统中,接收到的信号首先被解调,然后再进行译码。解调器可以看作是信号波形的匹配滤波器,解调器的输出端是匹配滤波器在波形周期内的一个抽样,如果解调器对每个码位(编码比特)是 0 还是

1 做出固定的判决,于是其输出被量化为两个电平,以 0 或者 1 表示。我们就说解调器对每个比特作了“硬判决”。译码器取出检测到的比特序列,并力求恢复信息序列。由于输入到译码器的信息是解调器硬判决的输出信息,所以把这种译码过程叫做硬判决译码。如果解调器对匹配滤波器输出的抽样值不进行量化处理,而是直接送入到译码器进行译码,译码器能利用包含在未量化抽样样本中的额外信息来恢复信息序列。这种办法比硬判决有较高的可靠性,称之为软判决译码。一般来讲,软判决译码性能优于硬判决译码性能^[10]。

根据上述分析,本文提出了一种软判决检测的鲁棒图像水印方案。嵌入水印信息时,首先把原始水印信号进行 Turbo 码编码,然后在原始图像 DFT 域的中频范围内通过密钥伪随机选择一组坐标点,根据编码比特的取值,修改两个成 90°坐标点的 DFT 系数幅度值,使之满足一定的关系来嵌入水印信息。这样,如果需要嵌入 1K 比特的水印信息,只需修改 2K 个系数的幅度值,这有效地提高了水印的嵌入容量和水印图像的失真度。在检测水印时,与通常的方法不同的是不直接对嵌入水印的位置进行硬判决检测,而是采用了软判决方式从水印图像的 DFT 域中提取软输入译码信息,这样可以达到更好的译码效果,从而提高了水印的鲁棒性。本方案的独到之处在于提出了软判决检测水印算法,在不改变原有水印嵌入算法的前提下,只需在检测端采用软判决检测的算法就可以提高水印系统的鲁棒性。

1 水印信号的嵌入

水印信号的嵌入过程如图 1 所示。



1.1 Turbo 码编译码原理

在 1993 年的 ICC 国际会议上,由两位任教于法国不列颠通信大学的教授 Berrou C., Glaienus A. 与他们的缅甸籍博士 Thitimajshima P. 等人提出了一种全新的译码结构,即软输入/软输出的循环迭代的译码

结构,因为这种译码结构类似于涡轮机的工作原理,所以称之为 Turbo 码。Berrou C. 等人在仿真过程中,采用了(37,21)的递归系统卷积码作为编码单元,长度为 65536 的伪随机交织器,编码码率为 1/2,即经过删余操作,在高斯白噪声信道中传输,接收端在经过迭代

18 次译码后,误码率性能与香农理论极限性能只差 0.7dB。这引起了学术界的研究热潮。其编译码结构框图如图 2 所示。

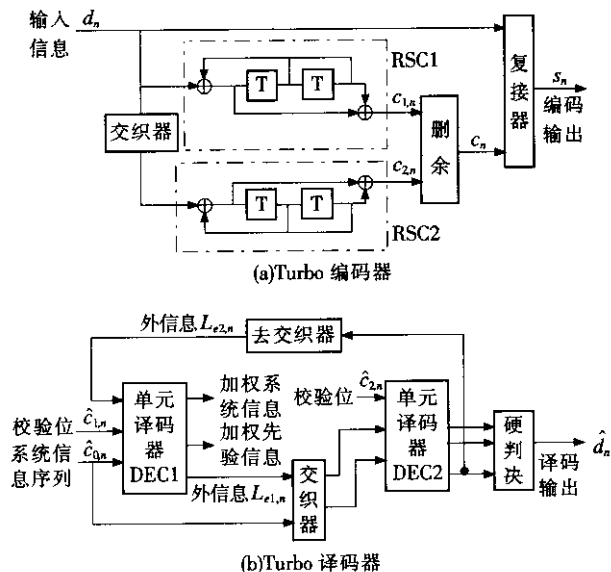


图 2 Turbo 编译码原理图

图 2(a)所示为 Turbo 码的典型编码器结构,其中 RSC1、RSC2 是两个完全相同的递归系统卷积码 (RSC)编码器,这里,称其为编码单元。Turbo 码是一种针对定长比特序列的编码方法,信息比特流在进入编码器之前先被分成多组长恒为 N 的比特序列。每一组比特序列记为 $\bar{d} = (d_1, d_2, \dots, d_N)$,输入到第一个编码单元 RSC1 进行编码的同时,通过一个交织器进行交织后进入第二个编码单元 RSC2 进行编码,两编码单元编码输出的校验序列经过删余控制编码码率,得到 Turbo 码编码器的校验序列。假设编码输出经过删余的话,那么得到的校验序列为 $\bar{c} = (c_{1,1}, c_{2,2}, c_{1,3}, \dots, c_{2,N})$,也就是说,校验序列的奇数位输出 RSC1 的校验位,偶数位输出 RSC2 的校验位。这里把未经编码的信息称为系统位信息。经过删余的校验序列与系统位信息序列进行复接,最后得到 Turbo 码的编码输出序列 $\bar{u} = (u_1, u_2, \dots, u_N)$,其中, $u_n = (d_n, c_n)$, $d_n, c_n \in \{0, 1\}$ 。

Turbo 码的两个编码单元都采用了系统卷积码而不是非系统码,其原因是:对于有相同约束长度的系统码和非系统码来说,虽然两者具有相同的最小自由距离,但是在较低信噪比的信道中,前者的误码性能要略好一些。交织器在 Turbo 码编码器中的主要作用是在不增加输出码重的情况下使有效自由距离最大化,以提高整体编码性能。对于具体的交织方式,伪随机交织要优于块交织。但在比特序列长度比较短时,两种交织方式引起的差异并不明显。另外,比特序列长

度 N 也将影响 Turbo 码最终的误码性能。

Turbo 码的典型译码框图如图 2(b)所示。这是一种循环迭代结构的译码算法,由两个相同的译码单元通过交织器与去交织器并行级联而成。因为这种译码结构类似于涡轮机的工作原理,故取名为 Turbo 码。循环迭代的译码结构也是 Turbo 码与其他编码方式的本质区别。每个译码单元采用改进的 BCJR 算法,这是一种软输入/软输出的译码算法,每个译码单元的软输入信息由三部分组成,分别称之为:校验位信息、系统位信息和外信息。这里又把校验位信息与系统位信息称之为先验信息。外信息是上一次循环迭代过程中,由前一个译码单元产生。因为外信息与先验信息无关,可以作为下一个译码单元的软输入信息。从而形成了一个循环迭代的译码结构。这个译码过程可以多次反复进行,最后在迭代了一定次数后,将第二译码单元的输出信息作硬判决便得到了最终的译码输出。

1.2 原始水印信息编码

原始水印是一幅二值图像,首先必须把二值图像像素按照一定的扫描顺序排列成一个二进制序列 $\bar{m} = (m_1, m_2, \dots, m_M)$,这里 $m_i \in \{0, 1\}$, M 为原始水印图像的大小。二进制序列经过 Turbo 编码后变成 $\bar{m}_c = (m'_1, m'_2, \dots, m'_M)$,其中, $m'_i \in \{0, 1\}$, M_c 为编码后二进制序列的大小,在本文中,编码输出没有经过删余操作,则有 $M_c = 3M$,即编码码率为 $1/3$ 。

1.3 二维离散傅立叶变换(DFT)

假设原始宿主图像是定义在整数笛卡尔坐标网格上的实值函数 $f(x, y)$, $0 \leq x < N_1$, $0 \leq y < N_2$ 。则二维的离散傅立叶变换定义为

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{N_1-1} \sum_{y=0}^{N_2-1} f(x, y) \cdot \exp[-j2\pi ux/N_1 - j2\pi vy/N_2] \quad (1)$$

与其对应的反变换定义为

$$f(x, y) = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{u=0}^{N_1-1} \sum_{v=0}^{N_2-1} F(u, v) \cdot \exp[j2\pi ux/N_1 + j2\pi vy/N_2] \quad (2)$$

在实际应用中,为了能获得图像的一个周期完整的傅立叶谱,需要把变换原点移至图像的中心 $(N_1/2, N_2/2)$ 处,这里把变换原点移位至图像中心的这个过程称为傅立叶变换的中心化过程,这只需要利用二维离散傅立叶变换的平移性质如式(3),就可很方便地获得中心化后的傅立叶谱分布。表达式为

$$f(x, y) \exp[j2\pi(\frac{u_0 x}{N_1} + \frac{v_0 y}{N_2})] \Leftrightarrow F(u - u_0, v - v_0) \quad (3)$$

即

$$f(x, y)(-1)^x(-1)^y \Leftrightarrow F(u - \frac{N_1}{2}, v - \frac{N_2}{2}) \quad (4)$$

这样把图像的傅立叶谱的直流分量移位到了矩阵的几

何中心位置,交流分量以直流分量为中心向四周成放射状分布。图像经过傅立叶变换处理的结果如图 3 所示。

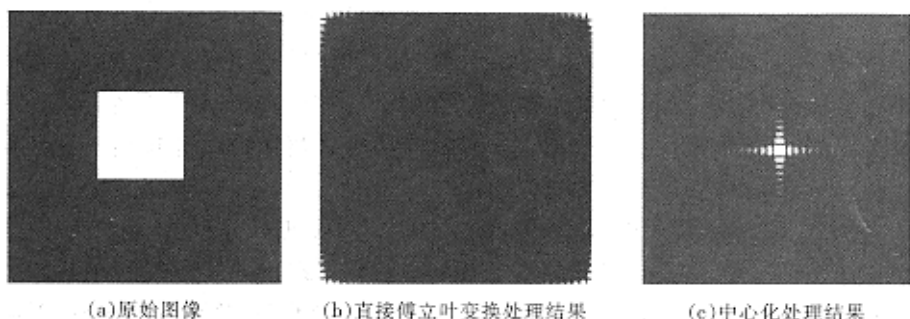


图 3 傅立叶变换中心化

一幅实值图像经过 DFT 变换后,得到的是一个具有复数值的矩阵,这样,图像的二维傅立叶变换又可以用幅值和相位来表示

$$A(u, v) = |F(u, v)| \quad (5)$$

$$\Phi(u, v) = \angle F(u, v) \quad (6)$$

一般来讲,人类视觉对图像的相位变化较为敏感,而对图像幅度的改变(即亮度变化)不是很敏感,因此,在图像 DFT 系数的幅值上嵌入水印信号具有较高的图像质量。在本文提出的方案中,水印图像与原始图像的峰峰信噪比(PSNR)达到了 40.1 dB。

1.4 水印信号嵌入

本文提出的方案既适合灰度值图像也适合真彩色(RGB)图像,如果是 RGB 图像,则把水印信号嵌入到 RGB 图像的 B 分量,文中仅以灰度值图像做分析。水印的嵌入过程如图 1 所示。如果在图像 DFT 域的低频系数上嵌入水印信号,那么会降低水印的不可见性;而在高频分量上嵌入的水印信号又很容易被 JPEG 压缩、低通滤波等常用图像处理操作所破坏。因此,选择在图像 DFT 域的中频系数上嵌入水印信号。在经过中心化后的图像的 DFT 域中,可以把与变换中心距离为 $dis \in (f_{w1}, f_{w2})$ 的点所属的区域看成是图像的中频区,其中, $dis = \sqrt{u^2 + v^2}$, u 和 v 为整数, $f_{w1} < f_{w2}$, 这里把 f_{w1} 、 f_{w2} 分别称之为内环半径和外环半径,如图 4 所示。

嵌入水印信息时,首先在密钥的控制下从图 4 所示坐标轴的第一象限内随机选择一组坐标点 (u_1, v_1) , (u_2, v_2) , $\dots$, (u_{M_c}, v_{M_c}) , 这里 u_i, v_i 必须满足 $f_{w1} < \sqrt{u_i^2 + v_i^2} < f_{w2}$ 。对于水印序列中的每一编码比特信息 $m'_i \in \{0, 1\}$, 采用文献[11]的方案,同时修改坐标点 (u_i, v_i) 以及坐标点 $(-v_i, u_i)$ 的 DFT 系数的幅度值,即修改两个成 90° 角的系数的幅度值,使之达到我们

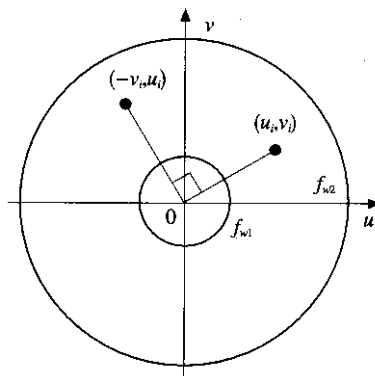


图 4 中频区示意图

期望的值。

$$\begin{cases} |F'(u_i, v_i)| - |F'(-v_i, u_i)| \geq \alpha & \text{如果 } m'_i = 1 \\ |F'(u_i, v_i)| - |F'(-v_i, u_i)| \leq -\alpha & \text{如果 } m'_i = 0 \end{cases} \quad (7)$$

式中, $|F'(u_i, v_i)|$ 和 $|F'(-v_i, u_i)|$ 分别表示坐标点 (u_i, v_i) 和 $(-v_i, u_i)$ 上被修改过的 DFT 系数的幅度值; α 为阈值门限,一般根据经验得出。

阈值门限越高,则嵌入的水印信号越鲁棒但水印的不可见性越差,反之亦然。因此,在选择阈值门限 α 时,必须在水印的鲁棒性和不可见性之间进行折中。本文根据每一比特编码水印信息 m'_i 对原始图像 DFT 的中频系数的幅度值做如下处理:

第一步:求出两坐标点 (u_i, v_i) 和 $(-v_i, u_i)$ 的系数幅度值之差 Δ 。

$$\Delta = |F(u_i, v_i)| - |F(-v_i, u_i)| \quad (8)$$

第二步:如果 m'_i 等于 1,判断 Δ 是否大于或者等于 α ,如果是,不需修改两点系数幅度值,进行第六步处理。

第三步:如果 m'_i 等于 1 且 Δ 小于 α ,按照式(9)修改两点的幅度值,然后进行第六步处理。

$$\begin{cases} |F'(u_i, v_i)| = |F(u_i, v_i)| + (\frac{\alpha}{2} - \frac{\Delta}{2}) \\ |F'(-v_i, u_i)| = |F(-v_i, u_i)| - (\frac{\alpha}{2} - \frac{\Delta}{2}) \end{cases} \quad (9)$$

第四步: 如果 m'_i 等于 0, 判断 Δ 是否小于等于 $-\alpha$, 如果是, 不需修改两点系数幅度值, 进行第六步处理。

第五步: 如果 m'_i 等于 0 且 Δ 大于 $-\alpha$, 按照式 (10) 修改两点的幅度值, 然后进行第六步处理。

$$\begin{cases} |F'(u_i, v_i)| = |F(u_i, v_i)| - (\frac{\alpha}{2} + \frac{\Delta}{2}) \\ |F'(-v_i, u_i)| = |F(-v_i, u_i)| + (\frac{\alpha}{2} + \frac{\Delta}{2}) \end{cases} \quad (10)$$

第六步: 读入下一比特编码水印信息 m'_{i+1} , 重复上述过程, 直到所有编码水印序列全部嵌入在图像的中频系数上。

值得注意的是图像 DFT 系数的幅度值是关于原点对称的, 为了使经过 DFT 反变换后得到的是实数矩阵, 必须对另一个半平面进行同样的修改, 即修改相应系数的幅度值使之满足式 (11)

$$\begin{cases} |F'(-u_i, -v_i)| = |F'(u_i, v_i)| \\ |F'(v_i, -u_i)| = |F'(-v_i, u_i)| \end{cases} \quad (11)$$

这样, 如果把水印信息嵌入在 DFT 的变换系数的幅度值上, 那么只有一半的系数是可以利用的。

2 水印信号的软判决检测

水印信号的检测过程既不需要原始图像和原始水印, 也不采用常见的相关检测算法, 使得整个检测过程非常简单。检测过程如图 5 所示。

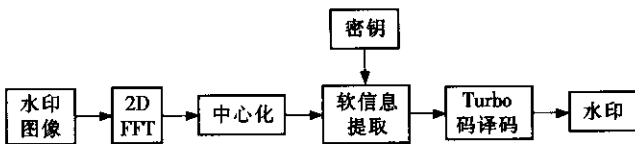


图 5 水印检测过程

2.1 软判决信息的提取

在之前的前向纠错码保护的水印系统方案中, 无一例外使用了硬判决方式从水印图像中提取译码信息, 这种信息提取方式抹杀了存在于水印图像中的编码水印信息之间差别, 把所有大于或者等于 0 的数都认为等同于 1, 而所有小于 0 的数都认为等同于 0 (或者 -1), 可以用式 (12) 表示

$$|T''(u_i, v_i)| = \begin{cases} \geq 0 & \hat{m}'_i = 1 \\ < 0 & \hat{m}'_i = 0 \end{cases} \quad (12)$$

式中, $T''(u, v)$ 是水印图像的正交变换系数; $\hat{m}'_i$ 是嵌入在图像中水印信号的估计值。

在本文提出的方案中, 根据水印嵌入方式采用了式 (13) 的软判决方式从水印图像中提取出用于译码的软信息 $\tilde{m}' = (\tilde{m}'_1, \tilde{m}'_2, \dots, \tilde{m}'_{M_c})$ 。

$$\tilde{m}'_i = |F''(u_i, v_i)| - |F''(-v_i, u_i)| \quad (13)$$

式中, $|F''(u_i, v_i)|$ 表示可能被攻击过的水印图像的 DFT 系数的幅度值。坐标点的位置 (u_i, v_i) 和 $(-v_i, u_i)$ 由密钥控制, 没有密钥的人不能正确提取水印信息, 确保了水印检测的安全性。

但由式 (13) 直接得到的软信息幅值太大, 不利于实际的译码操作, 因为这样做需要大量的量化比特, 无疑会增大系统的开销, 而且还会引入大量的误差, 包括译码过程中因为数据过大而引入的舍入误差, 以及量化误差。而且在译码过程中因为这种近似处理而引入误差甚至会超过量化误差的影响。因此, 把软检测输出的编码信息输入到 Turbo 码译码器进行译码之前, 我们选择了把检测到的软判决信息进行归一化处理, 需要注意的是, 这里归一化处理指的是把除以一个常数 C , 以降低软信息的幅度值, 使之能降低译码过程中引入的各种误差。这样得到的归一化的软信息为

$$\tilde{m}''_i = \tilde{m}'_i / C = \frac{1}{C} (|F''(u_i, v_i)| - |F''(-v_i, u_i)|) \quad (14)$$

式中, 把常数 C 称为归一化因子, 归一化因子一般根据经验值得出, C 的取值大小会对 Turbo 码的译码性能有一定的影响, 因为 C 的取值会影响迭代译码过程中的一些中间数据的舍入误差, 或者说近似误差。不同的归一化常数对应的 Turbo 码的误码率, 如图 6 所示。

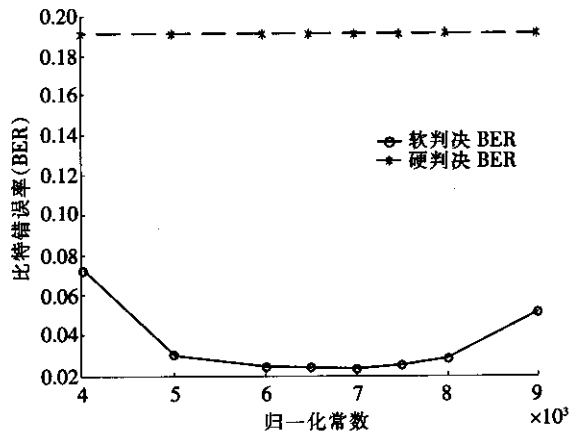


图 6 加均值为 0, 方差为 0.003 的高斯白噪声, 不同归一化常数下的软判决与硬判决的比特错误率

2.2 Turbo 码译码

虽然改进后的 BCJR 算法^[8,9]是一种最佳的译码算法,在相同的信道条件下能获得最好的译码效果,但是改进后的 BCJR 算法复杂度很高,获得的译码性能与付出的代价相比,这并不是一个最佳的选择,在实际的应用中更是如此。因此,寻找一种次最佳的译码算法就显得很有必要了,比如 LOG-MAP 和软输入/软输出的维特比(SOVA)算法就是次最佳的 Turbo 码译码算法。在本文中,综合考虑了译码的计算复杂度和译码性能之后,选择了 MAX-LOG-MAP 算法^[12],此算法在计算信道转移状态路径时,只保留最大的路径分量,这样大大降低了译码的计算复杂度,而且与改进后的 BCJR 算法相比,误码性能没有显著的下降。译码过程在完成预定的迭代次数后,自然停止整个循环迭代译码过程,然后对单元译码器 DEC2 的软输出信息进行硬判决,得到纠错后的水印信号。

3 实验结果

实验使用的原始图像是 512×512 大小的“Lena.bmp”,如图 7(a)所示。图像 DFT 系数中频区域的内环半径和外环半径分别为 $f_{w1}=70$, $f_{w2}=200$, 阈值门限 $\alpha=8\ 000$ 。原始水印是大小为 20×50 的二值图像,如图 7(c)所示。



图 7 实验结果

Turbo 码编码单元是系统递归卷积码,生成多项式为 $(7,5)$,连接两成员编码器的是大小为 20×50 的随机交织器,编码输出不经过删余操作,即编码码率为 $1/3$,译码迭代次数为 6 次。嵌入水印的图像如图 7(b)所示,水印图像与原始图像的峰峰信噪比 PSNR 为 40.1 dB。在实验中发现,当水印图像与原始图像的 PSNR 超过 40 dB 时,人眼几乎看不到图像的改动,即水印的不可见性非常好。

3.1 归一化常数的确定

在通信系统中,通常在高斯白噪声信道环境下完成信道误码性能的理论分析。因为一个带有前向纠错编码的数字水印系统可以等效为通用的通信系统,水

印所遭受的各种攻击可以等效为信道干扰。如果把常见的攻击分成几何攻击和数字化处理两类的话,一般的数字化处理对数字水印的软判决检测的影响是一种类噪声的形式。而几何攻击因为改变了攻击前后图像之间的同步关系,很难用一种类噪声干扰的形式来表达几何攻击。因此,这里仅分析同步情况下的抗攻击能力。对于不同步的情况,可以在图像中首先嵌入一个同步信号,然后再嵌入经过编码保护的水印信号。水印检测时,首先检测同步信号,根据检测到的同步信号对图像进行同步处理,然后再实施软判决检测^[11]。

在不考虑几何攻击的情况下,可以借用通信理论分析中常用的方法——以加高斯白噪声攻击为准则来确定最佳的归一化常数 C 。这里最佳的归一化常数定义为在某个阈值门限 α 下,使得输入到 Turbo 码译码器的归一化的软信息能获得最小的比特错误率。图 6 给出了在均值为 0、方差为 0.003 的高斯噪声攻击下的各不相同的归一化常数所对应的译码比特错误率。从图 6 中得出:归一化常数 $C=7\ 000$ 是最佳的。

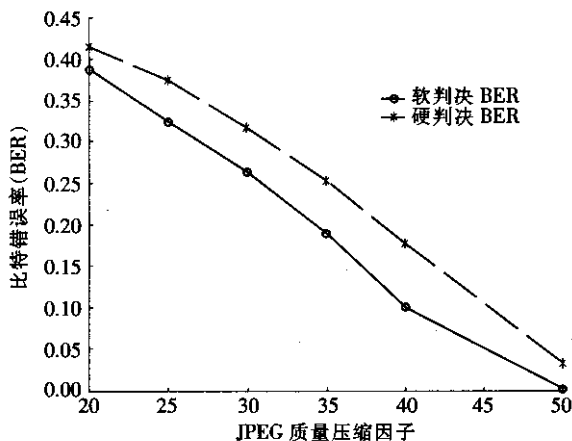


图 8 经过 JPEG 压缩的软判决与硬判决的比特错误率

3.2 鲁棒性分析

在水印系统鲁棒性的测试方面,本文使用了标准攻击软件 StirMark 3.1^[13]。这里,仅列出了其中一般数字化处理攻击的结果,即仅考虑了待检测图像与水印图像同步的情况。图 8 表示在不同 JPEG 质量压缩因子下,软判决检测译码与硬判决检测译码的性能比较结果。很明显,软判决检测的比特误码率要低于硬判决检测比特误码率。表 1 中列出了常见滤波处理后的检测结果,并比较了软判决译码与硬判决译码的性能。因为本文的水印嵌入方案受图像滤波的影响较小,无论是软判决检测还是硬判决检测都能准确无误地恢复原始水印信号。从实验结果中能得出这样的结论:软判决译码算法比硬判决译码算法具有更低的比特错误率,也就是说具有更好的鲁棒性。

表 1 不同攻击类型下的错误检测率

攻击类型	软判决译码 比特错误率	硬判决译码 比特错误率
高斯噪声(0, 0.003)	0.022	0.191
尖锐化 3×3	0	0
高斯滤波 3×3	0	0
中值滤波 2×2	0	0
中值滤波 3×3	0	0
中值滤波 4×4	0	0

4 结论

本文提出了一种软判决检测的鲁棒图像水印方案。在此方案中,选择 Turbo 码作为前向纠错码来保护水印信号,经过编码的水印信号被嵌入到图像 DFT 域中频系数上。因为只需修改两个系数就可嵌入一比特水印信息,故水印容量较大且水印图像的质量较高。水印提取方法与传统方法不一样,不是直接进行硬判决提取用于译码的水印信息,而是采用软判决检测方法从 DFT 域中提取水印信息。在不改变原有的水印嵌入方法上,就能有效提高水印系统的鲁棒性。

参考文献:

[1] van Schyndel R G, Tirkel A, Osborne C. A digital watermark [A]. In: IEEE Proceeding International Conference on Image Processing[C]. Austin, Tex: IEEE Press,1994. II :86—90.

[2] Bende R W, Gruhl D. Techniques for Data Hiding [J]. IBM System Journal, 1996, 35(3-4): 313—336.

[3] Ruanaidh J J K O, Thierry Pun. Rotation, Scale and Translation Invariant Digital Image Watermarking [A]. ICIP-1997. 536—539.

[4] Cox I J, Killian J, Leighton F T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE transaction Image Processing, 1997, 6(12): 1673—1687.

[5] Xia X G, Boncelet C G, Arce G. A Multiresolution Watermark for Digital Images [A]. ICIP-1997. 548—551.

[6] Forney G D. The Viterbi Algorithm [J]. Proceedings of the IEEE. Mar. 1973, 61(3):268—278.

[7] Blake I, Heegard C, Hoholdt T etc. Algebraic-geometry codes [J]. IEEE Transaction on, Information Theory, Volume 44, Issue 6, Oct. 1998. 2596—2618.

[8] Berrou C, Glaienix A, Thitimajshima P. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding Turbo-codes [A]. Proc. IEEE ICC[C]. May 1993. 1064—1070.

[9] Berrou C, Glavieux A. Near optimum error correcting coding and decoding: turbo-codes [J]. IEEE transactions on Communications, Volume 44, Issue 10, Oct. 1996. 1261—1271.

[10] Proakis John G. Digital Communications [M]. Third Edition. Beijing Publishing House of Electronics Industry, Sep. 1998. 456—461.

[11] Pereira S and Pun T. Robust template matching for affine resistant image watermarks [J]. IEEE trans. Image Processing, Jun. 2000, Vol. 9: 1123—1129.

[12] Patrick Robertson, Emmanuelle Villebrun and Peter Hoeher. A Comparison of Optimal and Sub-optimal MAP decoding Algorithms Operating in the Log Domain [A]. In: proceedings of ICC'95 Seattle, WA, Jun. 1995. 1009—1013.

[13] Fabien A P Petitcolas and Markus G Kuhn[EB/OL]. <http://www.cl.cam.ac.uk/fapp2/watermarking/stir-mark>.

(责任编辑 姚家兴)

作者: 杨文学, 桑茂栋, 赵耀
作者单位: 北京交通大学, 信息科学研究所, 北京, 100044
刊名: 铁道学报 ISTIC EI PKU
英文刊名: JOURNAL OF THE CHINA RAILWAY SOCIETY
年, 卷(期): 2005, 27(1)
被引用次数: 2次

参考文献(13条)

1. [van Schyndel R G;Tirkel A;Osborne C A digital watermark](#)[外文会议] 1994
2. [Bende R W;Gruhl D Techniques for Data Hiding](#)[外文期刊] 1996(3-4)
3. [Ruanaidh J J K O;Thierry Pun Rotation,Scale and Translation Invariant Digital Image Watermarking](#) 1997
4. [Cox I J;Killian J;Leighton F T Secure spread spectrum watermarking for multimedia](#)[外文期刊] 1997(12)
5. [Xia X G;Bonclet C G;Arce G A Multiresolution Watermark for Digital Images](#)[外文会议] 1997
6. [Forney G D The Viterbi Algorithm](#)[外文期刊] 1973(03)
7. [Blake I;Heegard C;Hoholdt T Algebraic-geometry codes](#)[外文期刊] 1998(06)
8. [Berrou C;Glaienus A;Thitimajshima P Thitimajshima P. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding Turbo-codes](#)[外文期刊] 1993
9. [BERROU C;Glavieux A Near optimum error correcting coding and decoding: turbo-codes](#)[外文期刊] 1996(10)
10. [PROAKIS JOHN G Digital Communications](#) 1998
11. [Pereira S;Pun T Robust template matching for affine resistant image watermarks](#)[外文期刊] 2000
12. [Patrick Robertson;Emmanuelle Villebrun;Peter Hoeher A Comparison of Optimal and Sub-optimal MAP decoding Algorithms Operating in the Log Domain](#)[外文会议] 1995
13. [Fabien A P Petitcolas and Markus G Kuhn](#)

本文读者也读过(8条)

1. [胡艳维 基于TURBO码的鲁棒数字水印算法研究](#)[学位论文]2006
2. [胡艳维 基于通信模型的鲁棒数字水印算法研究](#)[期刊论文]-萍乡高等专科学校学报2005(4)
3. [胡艳维. 秦拯. HU Yan-Wei. QIN Zheng TURBO码在数字水印鲁棒算法中的应用](#)[期刊论文]-计算机科学2007, 34(10)
4. [茹国宝. 杨锐. 夏双奎. 孙洪. 黄天锡 基于Turbo码的图像数字水印技术](#)[期刊论文]-武汉大学学报(理学版)2003, 49(5)
5. [杨虎. 杨瑾. YANG Hu. YANG Jin 一种基于分数傅立叶域图象盲水印方案](#)[期刊论文]-激光杂志2006, 27(5)
6. [陈心浩. 陈军波. 陈亚光 基于Turbo码的信息隐藏技术](#)[期刊论文]-计算机工程与应用2004, 40(15)
7. [陈心浩. 陈军波 基于Turbo码的数字水印技术](#)[期刊论文]-电视技术2003(8)
8. [许文丽. 王育民. XU Wen-li. WANG Yu-min 基于差错控制编码的水印检测](#)[期刊论文]-电子学报2005, 33(7)

引证文献(2条)

1. [杨虎. 杨瑾 一种基于分数傅立叶域图象盲水印方案](#)[期刊论文]-激光杂志 2006(5)
2. [杨瑾 不对称分数傅立叶图象盲水印算法](#)[期刊论文]-山西师范大学学报(自然科学版) 2006(2)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_tdx200501010.aspx