

一种强干扰背景下的盲加性水印算法*

燕晓[†], 蒙应杰, 王阳, 郁军

(兰州大学 信息科学与工程学院, 甘肃 兰州 730000)

A Blind Additive Watermarking Algorithm Under Intense Interference Background

YAN Xiao⁺, MENG Ying-Jie, WANG Yang, YU Jun

(School of Information Science and Engineering, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

+ Corresponding author: Phn: +86-21-68895591, E-mail: yx962001@yahoo.com.cn, <http://www.lzu.edu.cn>

Received 2004-01-14; Accepted 2004-09-07

Yan X, Meng YJ, Wang Y, Yu J. A blind additive watermarking algorithm under intense interference background. *Journal of Software*, 2005,16(9):1678–1684. DOI: 10.1360/jos161678

Abstract: Traditional blind additive SS (spread spectrum) watermarking systems have such features: high robustness, low detection value and small capacity. The main reason leading to low detection value is the host signal's interference. Based on the Gaussian signal detection principle under Gaussian noise, the correlation detection is analyzed in theory. In addition, the using condition of correlation detector and the relationship between the normalized correlation detector and SNR (signal noise ratio) are discussed in this paper. Based on these analyses, an improved blind additive watermarking algorithm is designed. Experimental results show that the algorithm effectively holds back the interference of host signal and the performance of detection has been greatly improved. Furthermore, it has greater robustness and imperceptibility.

Key words: blind additive watermarking; spread spectrum; Gaussian distributed; correlation detection

摘要: 传统盲加性扩频水印系统具有鲁棒性高、检测值低、容量小的特点。载体信号的干扰是导致检测值偏低的主要原因。从高斯噪声中高斯信号的检测原理出发,对相关性检测器进行了理论分析。此外,还讨论了归一化相关检测器与信噪比的关系以及相关性检测器的应用条件。基于此分析,提出了一种改进盲加性水印算法。实验结果表明,该算法有效地抑制了载体信号的干扰,提高了盲加性扩频水印系统的检测性能,同时具有很好的感知质量和鲁棒性。

关键词: 盲加性水印;扩频;高斯分布;相关性检测

中图法分类号: TP309 文献标识码: A

* Supported by the National Special Research Foundation for the Commonweal of Society of China under Grant No.2001DIB10060 (国家社会公益研究专项基金)

作者简介: 燕晓(1978 -),男,四川渠县人,硕士,主要研究领域为数字水印技术,数字信号处理;蒙应杰(1964 -),男,副教授,主要研究领域为数字图像处理,软件复用,软件构件技术;王阳(1982 -),男,硕士生,主要研究领域为信息隐藏,数字图像处理;郁军(1979 -),男,硕士,主要研究领域为信息隐藏,数字水印技术。

近年来,数字水印作为一种新兴的数字媒体产品版权保护技术受到了广泛的关注,是目前信息安全领域的一个研究热点.一般来说,一个有效的数字水印系统具有保真度和鲁棒性两大基本特征,但保真度和鲁棒性是一对互相矛盾的特征.保真度条件的满足通常以降低水印系统鲁棒性为代价;反之,鲁棒性的提高往往会导致作品失真度的增加.因此,一个有效的数字水印系统通常是在这二者之间寻求折衷的结果.更高的要求是,在水印系统的容量、鲁棒性、保真度这三者之间寻找最优的平衡.

数字水印系统可按不同标准进行分类,目前研究较多的水印算法主要有两大类:(1) 加性水印,如 Cox 的扩频(spread spectrum,简称 SS)算法^[1,2];(2) 基于量化替换策略的数字水印,如 Chen 的 QIM(quantized index modulation)及其改进算法 DM(dither modulation)^[3-5]、Eggers 的 SCS(scalar costa scheme)算法^[6-8].自 1996 年 Cox^[1]首次将数字水印看作通信问题的一种特例,并将扩频技术引入水印系统以来,扩频技术受到了广泛的关注,许多以扩频思想为基础的水印算法提了出来,但对于传统的盲加性扩频水印而言,由于来自载体作品的干扰无法消除,其水印容量通常较低.1999 年,Cox^[9]意识到水印通信实际上可被看作在解码器端带边信息的通信问题,在水印系统中利用边信息,将有助于去除载体干扰.不久,Chen 和 Eggers 相继提出一些实现方案,证实了这一想法.这些方案的一个共同点在于,都是基于量化替换策略的.Eggers^[10]在其实验中表明:QIM 算法和 DM 算法在低等强度的攻击下具有较高的信道容量,而 SS 算法的信道容量却明显较低(SCS 算法在中等强度的攻击下也能保持比 SS 算法更高的信道容量);仅当攻击较强时,QIM 算法、DM 算法和 SCS 算法才由于其鲁棒性而迅速减弱,导致水印信道容量迅速下降,而 SS 算法却能保持较稳定的性能.从这一点来看,基于量化的水印系统似乎比加性扩频水印具有更优的性能.但是,通过进一步的分析,我们发现有两点值得再考虑:(1) 在数字水印的大多数实际应用中,水印攻击导致的失真将强于由水印嵌入导致的失真.也就是说,水印系统面临的至少是中等强度以上的攻击.(2) Eggers 在得出其实验结果时,用于计算 SS 水印系统信道容量的公式为

$$C_{ss_egger} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\sigma_w^2}{\sigma_x^2 + \sigma_n^2} \right) \quad (1)$$

其中, σ_w^2 为水印信号的方差, σ_x^2 为载体信号的方差, σ_n^2 为后续噪声的方差.也就是说,Eggers 在得出其结论时,完全没有去除载体信号的干扰.因此,如果能通过某种方式对载体信号的干扰进行有效抑制,那么加性扩频水印系统在保持 SS 算法高鲁棒性这一优点的同时将具有更高的水印容量.

基于以上分析,本文首先从通信的角度出发,对相关性检测器进行理论分析,揭示相关性检测器的本质及适用条件,然后以此结论为基础进行水印算法设计.为满足检测量的应用条件,该算法选择由同频 DCT 系数构成的子通道为载体信号.在水印检测时,利用未加水印作品的信息(而不是未加水印作品本身,这并不是非常苛刻的条件)进行预处理,以降低载体作品的干扰,从而提高盲加性扩频水印系统的信道容量.实验证明,该水印方案比未去除载体信号干扰的 SS 水印方案具有更高的信道容量;在面临中等及强攻击时,比 QIM 和 SCS 水印方案具有更高的信道容量.同时,该水印方案对 JPEG 压缩、白高斯噪声、图像锐化/平滑等攻击具有良好的鲁棒性.

1 相关性检测器及其理论分析

1.1 高斯噪声中高斯信号的检测

从本质上讲,数字水印是一种通信方式,即从水印嵌入器向水印接收器传输信息,而水印的检测则可理解为信号的检测.根据信号检测理论可知,在实际中经常遇到通过目标本身发出的噪声来判断目标是否存在的问题.此时,待检测的信号与噪声背景都是均值为 0 的高斯信号,它们之间的唯一差别在于方差的不同.由信号检测理论^[11]可知,采用能量接收机可以有效地检测淹没于高斯噪声中的高斯信号,将能量接收机的思想引入数字水印的检测,便可得到下面的相关检测器.

1.2 水印的相关检测器

在数字水印系统中,如果将待嵌入的水印信息设计为服从高斯分布的均值为零的随机变量信号,而将来自于载体信号的干扰以及其他后续干扰噪声都视为均值为 0 的白高斯噪声,那么水印检测问题实际上即为高斯

噪声中高斯信号的检测问题.

定义水印信号为 w , 其第 m 个样本信号表示为 $w[m]$; 定义噪声信号为 n , 其第 m 个样本信号表示为 $n[m]$, 则在接收器端接收到的信号 $r = w + n$, 其第 m 个样本信号表示为 $r[m]$. 假设 w, n, r 的样本信号均是独立同分布(independent identical distribution, 简称 IID)的. 对于接收到的 N 个独立的样本信号 $r[1], r[2], \dots, r[N]$, 存在两种假设:

$$H_0: \text{水印信号不存在, } r = n;$$

$$H_1: \text{水印信号存在, } r = w + n.$$

据前面的假设条件有: 水印信号和噪声信号的均值为 $\mu_w = \mu_n = 0$, 水印信号的方差为 σ_w^2 , 噪声信号的方差为 σ_n^2 , 且 $\sigma_w^2 \neq \sigma_n^2$. 由于水印信号 w 与噪声 n 均服从正态分布且独立, 由正态分布的性质可知, 其线性组合 r 也服从正态分布, 且接收信号的均值为 $\mu_r = 0$, 接收信号的方差为 $\sigma_r^2 = \sigma_w^2 + \sigma_n^2$.

对于这两种不同的假设, 存在条件概率密度:

$$p(\mathbf{r} | H_0) = [2\pi\sigma_n^2]^{-\frac{N}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^N r_i^2}{\sigma_n^2}\right\} \quad (2)$$

$$p(\mathbf{r} | H_1) = [2\pi(\sigma_n^2 + \sigma_w^2)]^{-\frac{N}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^N r_i^2}{\sigma_n^2 + \sigma_w^2}\right\} \quad (3)$$

将式(3)改写为

$$p(\mathbf{r} | H_1) = \left[2\pi\sigma_n^2 \left(1 + \frac{\sigma_w^2}{\sigma_n^2}\right)\right]^{-\frac{N}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^N r_i^2}{\sigma_n^2 \left(1 + \frac{\sigma_w^2}{\sigma_n^2}\right)}\right\} \quad (4)$$

定义变量 $\theta = \frac{\sigma_w^2}{\sigma_n^2}$, 并将其带入式(4), 则有

$$p(\mathbf{r} | H_1) = [2\pi\sigma_n^2(1 + \theta)]^{-\frac{N}{2}} \exp\left\{-\frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^N r_i^2}{\sigma_n^2(1 + \theta)}\right\} \quad (5)$$

如果将 θ 视为条件概率密度 $p(\mathbf{r} | H_1)$ 的一个未知参数, 那么可以用最大似然估计对 θ 进行参数估计. 求解方程:

$$\frac{d \ln[p(\mathbf{r} | H_1)]}{d\theta} = 0 \quad (6)$$

可以得到:

$$\theta + 1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{r_i^2}{\sigma_n^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{r_i(w_i + n_i)}{\sigma_n^2} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{r_i w_i}{\sigma_n^2} + \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(w_i + n_i)n_i}{\sigma_n^2} \quad (7)$$

显然, $R_{wn}(0) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N w_i n_i$, $R_{wn}(0)$ 是 w 与 n 在时延 $\tau = 0$ 时的互相关函数. 由于 w 与 n 为相互独立的高斯随机变量,

所以 $R_{wn}(0) \approx 0$. 另外, 当 $N \gg 1$ 时, 由于 $\mu_n = 0$, 故有 $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i^2 = \sigma_n^2$. 因此, 式(7)可简化为

$$\theta = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{r_i w_i}{\sigma_n^2} \quad (8)$$

考虑到 $\theta = \frac{\sigma_w^2}{\sigma_n^2}$, 式(8)可改写为

$$\sigma_w^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N r_i w_i \quad (9)$$

这就是线性相关检测器.可见,线性相关检测器测量的是水印信号的能量.

更进一步地,可将式(9)改写为

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{r_i w_i}{\sigma_r \sigma_w} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\sigma_n^2}{\sigma_w^2} + 1}} \quad (10)$$

容易看到,当水印信号较强时 ($\sigma_w^2 \gg \sigma_n^2$), 式(10)的右边趋近与 1; 当噪声信号较强或不存在水印信号时 ($\sigma_w^2 \ll \sigma_n^2$), 式(10)的右边趋近与 0. 因此, 统计量 $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{r_i w_i}{\sigma_r \sigma_w}$ 可以很好地作为水印是否存在的检测器.

由于 $\mu_w = \mu_r = 0$, 所以有 $|\mathbf{w}| = \sqrt{N} \sigma_w$, $|\mathbf{r}| = \sqrt{N} \sigma_r$. $|\mathbf{w}|$ 是 \mathbf{w} 的 N 个样本所构成向量的欧氏长度, $|\mathbf{r}|$ 亦然. 将它们带入式(10), 得到

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{r_i w_i}{\sigma_r \sigma_w} = \sum_{i=1}^N \frac{r_i w_i}{|\mathbf{w}| |\mathbf{r}|} \quad (11),$$

等式右边的部分即为归一化相关.

由式(10)可以看到, 归一化相关检测的本质是对信噪比的检测. 下面, 我们主要讨论统计量 c 作为水印检测量的情况.

$$c = \sum_{i=1}^N \frac{r_i w_i}{|\mathbf{w}| |\mathbf{r}|} \quad (12)$$

值得一提的是, 无论是从本文推导所采用的假设条件, 还是从统计学中归一化相关的适用范围来看, 归一化相关作为检测统计量仅仅在两个待检测向量的样本都服从高斯分布时, 才是最优而且可信的. 然而在水印系统中, 载体信号(例如, 自然图像的 DCT 系数)的分布通常并不严格满足高斯分布, 因此如果直接使用在检测器端接收到的信号进行检测, 往往得不到好的效果. 这也就是来自载体信号的干扰产生的原因之一. 同时, 后续干扰噪声 n 也不一定与水印信号 \mathbf{w} 相互独立. 比如, 对自然图像进行 JPEG 压缩, 当量化步长较大时, 量化误差与原图像和水印信号都相关, 这时水印检测值 c 比 1 要小.

2 数字水印算法

前面对相关性的检测器的理论分析表明, 线性相关检测器本质上是对水印能量的检测, 而归一化相关检测器本质上是对信噪比的检测, 同时指出相关性检测器的适用条件隐含着高斯分布的假设, 这对水印系统性能的提高具有重要的指导意义. 基于此结论, 我们设计下面的静态自然图像水印算法.

首先选择如式(12)所示的归一化相关作为检测量, 算法的设计将围绕所选择的检测量进行. 算法的基本思想是, 在发送端, 将负载有水印信息且服从高斯分布的伪随机模板序列, 以加性方式嵌入高斯分布的噪声背景中并传送至接收端. 在接收端, 准确重构水印嵌入时所采用的模板序列, 并将其连同接收信号一起输入归一化相关检测器进行水印检测, 如式(10)所示, 当水印信息存在时, 检测量的绝对值趋近于 1; 反之, 趋近于 0.

如果水印信息 M 被编码成二进制序列 $\mathbf{b} = \{b_1, b_2, \dots, b_L\}$ ($b_m = 0, 1$), $|\mathbf{b}| = L$. 水印嵌入过程可描述为

$$\mathbf{s} = \mathbf{x} + \alpha(\mathbf{x})G(\mathbf{b}_m)\mathbf{w}(k) \quad (13)$$

其中, \mathbf{s} 代表嵌入水印信息后的信号, \mathbf{x} 代表载体信号, \mathbf{w} 代表水印信息模板, \mathbf{s} , \mathbf{x} , \mathbf{w} 均为 N 维矢量; $\alpha(\mathbf{x})$ 是水印嵌入强度因子, 根据人眼视觉特性由载体图像计算而得. 函数 $G(\mathbf{b}_m)$ 定义为

$$G(\mathbf{b}_m) = \begin{cases} 1, & b_m = 1 \\ -1, & b_m = 0 \end{cases}$$

w 是在水印密钥 k 的控制下生成的伪随机序列,水印攻击者不知水印密钥 k ,因此无法准确复制被嵌入的水印模板序列,也就无法检测出水印信息.同时, w 服从标准正态分布,并与载体信号 x 独立.在载体信号 x 也服从正态分布的理想情况下,若采用归一化相关性检测器进行水印检测, w 与 x 之间的相关为 0,检测的结果将取决于所嵌入的水印信息.下面着重讨论该算法的几个重要过程.

2.1 载体信号的选择

为了使用相关性检测器进行水印检测,所选择的载体信号 x 必须满足相应的分布条件.我们通过以下步骤来获取载体信号.

将大小为 $M \times N$ 的原图像划分成 $MN/64$ 个 8×8 大小的像素块,并在每个 8×8 像素块内逐一采用 DCT 变换,得到 $MN/64$ 个 8×8 大小的 DCT 系数块.将所有 DCT 系数块中频率相同的 DCT 系数提取出来组成一个 DCT 系数序列,我们称其为一个子通道.这样将得到 64 个长度为 $MN/64$ 的子通道.水印信息将被嵌在这 64 个子通道中的某些子通道.我们之所以将水印信息嵌在子通道内,原因主要有 3 个:其一,同一子通道内的 DCT 系数在视觉上具有同等程度的重要性;其二,JPEG 压缩时,同一子通道内的量化步长相同,即其受到的攻击强度相同;其三,同一子通道内的各 DCT 系数之间是独立同分布的,由前文可知,这是应用归一化相关检测器的必要条件.将这 64 个子通道按 zig-zag 顺序排列,并选出前 20 个 AC 系数子通道,作为载体信号 x ,而其余的高频子通道由于其抗攻击性较差而被放弃.在我们的系统中,低频和中频系数子通道均被采用.尽管低频系数由于其视觉重要性,水印嵌入能量有限,导致相关检测值偏低,但实验表明,低频系数对水印攻击具有更好的鲁棒性.因此,只要嵌入强度和检测阈值选择适当,系统性能仍然很好.

2.2 嵌入强度因子的选择

由式(10)可以看到,为降低检测的错误率,我们希望能尽可能地提高信噪比.但是,由于受水印保真度的约束,信噪比不可能无限地提高.同时,不同的图像或者同一图像的不同部分,其掩蔽水印的能力也不同.因此,必须根据图像的具体特征选择相应的强度因子.

目前,比较有代表性的自适应水印算法是基于 JND 的算法,它主要利用了人眼的 3 种视觉特性:(a) 对不同频率 DCT 系数敏感程度的差异;(b) 亮度掩蔽效应;(c) 对比度掩蔽效应.但是,本文所提出的算法并非直接在 8×8 DCT 系数块之类的邻近区域内进行,所以亮度掩蔽特性和对比度掩蔽特性将无法直接运用.经过对图像进行统计分析,我们发现,这两种特性与 DCT 系数子通道的方差(即载体信号的方差)有极强的联系.当载体信号的方差 σ_x^2 较大时,可以嵌入的水印能量较高;反之,则可嵌入的能量很小.因此,载体信号的方差将会在嵌入强度因子的选择中具有重要的意义.另外一个影响强度因子选择的因素是人眼对不同频率 DCT 系数敏感程度的差异.下面给出人眼对不同频率的 DCT 系数的敏感程度.这是 8×8 DCT 频率敏感度表的一部分,仅给出了前面 6×6 共 36 个取值.这个值越小,说明人眼对该频率越敏感^[12].

1.40	1.01	1.16	1.66	2.40	3.43
1.01	1.45	1.32	1.52	2.00	2.71
1.16	1.32	2.24	2.59	2.98	3.64
1.66	1.52	2.59	3.77	4.55	5.30
2.40	2.00	2.98	4.55	6.15	7.46
3.43	2.71	3.64	5.30	7.46	9.62

因此,在我们的算法中,嵌入强度因子被表示为载体信号的方差和频率敏感度的函数:

$$\alpha_{ij} = f(T_{ij}, \sigma_x^2) \quad (14)$$

这里, T_{ij} 表示 DCT 频率敏感度表中处于 (i, j) 位置的 DCT 系数的敏感程度.

2.3 水印检测

嵌入水印信息后的信号 s 在到达水印检测器之前,通常会遭受各种无意或恶意的攻击,比如,图像有损压缩、图像锐化/平滑等.所以,水印检测器接收到的信号表述为

$$y = s + n \quad (15)$$

以式(12)作为水印检测器.对于传统的盲加性水印系统,相关检测将直接在 y 上进行.但是正如前文所指出

的,自然图像 DCT 系数的统计特性并不稳定,一般不能简单地用高斯分布来建模.最近,一些研究者试着用拉普拉斯分布或广义高斯分布对 DCT 系数建模,取得了更好的效果.事实上,自然图像的低频 DCT 系数通常用形状因子 $\nu=1/2$ 的广义高斯分布来建模会取得较好的效果,而高频部分的 DCT 系数用拉普拉斯分布来建模效果较好.此外,大量载体信号能量输入归一化相关检测器,大大降低了水印信号的信噪比.这些都使得载体信号在水印检测时扮演着干扰源的角色,导致传统盲加性水印系统的相关检测值偏低.

为了抑制载体信号的干扰,必须在检测之前进行预处理.我们知道,自然图像的像素分布可以用高斯分布很好的建模,同时,所嵌入的水印信息也服从均值为 0 的高斯分布.利用这两条信息可以设计针对接收信号 y 的预处理算法,目的有二:(1) 滤除载体信号能量;(2) 使残余的载体信号更趋近于高斯分布.实验证明,这种预处理将大大提高归一化相关检测的性能.由于篇幅关系,具体的预处理算法本文不作详细讨论,其过程可以简单描述为 $r = R(y)$.最后对预处理的结果 r 进行归一化相关检测.

3 仿真实验

本文下面的实验将以一张 256×256 大小的 kid 图为测试图.首先,将该测试图从 RGB 空间转换到 YCbCr 色彩空间,我们的实验将仅在 YcbCr 色彩空间的亮度通道中进行(这仅仅是为了简化实验).

图 1 给出了扩频非盲检测算法、传统扩频盲检测算法及本文所提盲检测算法在 JPEG 有损压缩背景下的归一化相关检测结果.JPEG 压缩的量化步长 Δ_{ij} 根据压缩质量因子按公式 $\Delta_{ij} = \delta_{ij} \times SF$ 进行调节,其中 δ_{ij} 是量化矩阵中处于 (i, j) 位置的基本量化因子,缩放因子 SF 的计算式为

$$SF = \begin{cases} 50, & QF = 0 \\ 50/QF, & 0 < QF \leq 50 \\ 2 - QF/50, & 50 < QF < 100 \\ 0, & QF = 100 \end{cases} \quad (16)$$

QF 即为 JPEG 压缩质量因子.

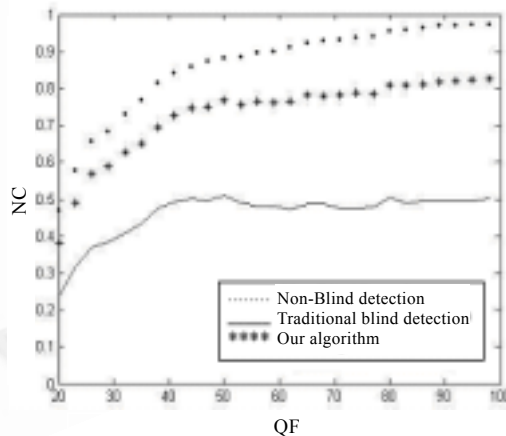


Fig.1 The detection results of different detection algorithms (JPEG compression)

图 1 不同检测算法的检测结果(JPEG 压缩)

从图 1 中可以看到,当图像压缩质量因子从 100 降到 20 时,本文的检测算法始终保持着较好的检测性能.同时可以看到,经过预处理后的盲检测值相对于传统盲检测值有较大提升,平均高出 0.2~0.3.不过这种提升效果在不同的子通道中不完全相同.这是可以理解的,因为不同的子通道其统计特性不完全相同.检测性能的提升不仅增加了系统的可靠性,同时也直接影响着系统的水印容量,因为水印系统可以采用更低的冗余度进行信道编码,从而提高了盲加性扩频水印系统的容量.

表 1 给出了本文算法在几种常见水印攻击下的实验结果.以下测试除 JPEG 压缩外,其余均在 Matlab 中进行,且水印信息被嵌在按 zig-zag 顺序排列的第 11 个子通道中.实验结果表明,本文的水印算法对多种信号处理

具有较好的鲁棒性.由于此水印系统的检测阈值一般较低,所以从实验结果来看,系统还可以抵抗更强的攻击.但实际上,当攻击强度超过我们在实验中所采用的参数时,图像失真将非常明显.

Table 1 The robustness against common watermarking attacking

表1 常见水印攻击下的鲁棒性

Operation	Normalized correlation
Average filtering (3-by-3)	0.690 78
Motion filtering (length=7)	0.752 18
Median filtering (3-by-3)	0.620 28
JPEG compression (QF=20)	0.485 6
Pepper & salt noise(noise density=0.05)	0.693 2
Gaussian noise (var=0.01)	0.674 08
Sharpening	0.823 7

另外,分析线性相关与归一化相关在本质上的差异可以看到,二者在检测性能上表现出一定的互补性.考虑到这两种检测可以采用相同的嵌入算法,在水印接收端,若同时使用线性相关和归一化相关进行检测,将有助于系统可靠性的进一步提高.值得指出的是,本文采用的预处理算法并不适合线性相关统计量作为水印检测器的情况.因为在滤除载体信号能量时,不可避免地会损失部分水印信号能量,然而线性相关检测的本质在于检测水印信号的能量,因此若对接收信号进行预处理,将有损线性相关的检测性能.

4 结束语

本文通过对相关性检测器的理论分析,揭示了相关性检测的本质及其适用条件,并在此基础上提出了一种改进的盲水印算法.实验证明,该算法的检测性能相对于传统盲加性扩频水印有较大提高,算法同时很好地满足了失真度约束条件,并对多种信号处理具有鲁棒性.当然,该算法仍有改进之处.目前对载体信号的残余干扰还缺乏一个比较精确的理论估计模型.可以设想,如果我们能够对载体信号的残余干扰建立一个更精确的统计模型,设计一种更优的水印检测器将是可能的.

References:

- [1] Cox IJ, Kilian J, Leighton T, Shamoon T. A secure, robust watermark for multimedia. In: Proc. of the Inform. Hiding Workshop. Cambridge, 1996. 147-158.
- [2] Cox IJ, Kilian J, Leighton T, Shamoon T. Secure spread spectrum watermarking for multimedia. IEEE Trans. on Image Processing, 1997,6(12):1673-1687.
- [3] Chen B, Wornell GW. Digital watermarking and information embedding using dither modulation. In: Proc. of the 1998 IEEE 2nd Workshop on Multimedia Signal Processing. Redondo Beach, 1998. 273-278.
- [4] Chen B, Wornell GW. Achievable performance of digital watermarking systems. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Multimedia Computing and Systems 1999, Special Session on Security and Watermarking, Vol 1. Florence, 1999. 13-18.
- [5] Chen B, Wornell GW. Provably robust digital watermarking. In: Proc. of the SPIE: Multimedia Systems and Applications II, Vol.3845. Boston, 1999. 43-54.
- [6] Eggers JJ, Su JK, Girod B. A blind watermarking scheme based on structured codebooks. In: IEEE Colloquium: Secure Images and Image Authentication. London, 2000.
- [7] Eggers JJ, Su JK. Performance of a practical blind watermarking scheme. In: Proc. of the SPIE: Electronic Imaging 2001, Security and Watermarking of Multimedia Contents III, Vol 4314. San Jose, 2001.
- [8] Eggers JJ, Girod B. Quantization effects on digital watermarks. Signal Processing, 2001,81(2):239-263.
- [9] Cox IJ, Miller ML, McKellips AL. Watermarking as communications with side information. Proc. of the IEEE, 1999,87(7): 1127-1141.
- [10] Eggers JJ, Bäuml R, Tzschoppe R, Girod B. Scalar costa scheme for information embedding. IEEE Trans. on Signal Processing, 2003,51(4):1003-1019.
- [11] Ju DH, Lin KX, Chen J. Guide to Signal Detection Theory. Beijing: Science Press, 1977 (in Chinese).
- [12] Cox IJ, Miller ML, Bloom JA. Digital Watermarking. Beijing: Publishing House of Electronics Industry; Morgan Kaufmann Publishers, 2003 (in Chinese).

附中文参考文献:

- [11] 鞠德航,林可祥,陈捷.信号检测理论导论.北京:科学出版社,1977.
- [12] Cox IJ, Miller ML, Bloom JA.数字水印.北京:电子工业出版社;Morgan Kaufmann Publishers, 2003.