

# 自适应最小能量谐波相位偏转音频水印算法

高 健,刘星星,杨 珂

(上海大学 机电工程与自动化学院,上海 200072)

**摘 要:**随着计算机网络的飞速发展,多媒体音频的传输越来越便利,以致音频作品的版权保护也显得日趋重要。针对离散余弦变换(DCT)的频谱系数符号具有良好鲁棒性的特点,文中提出了一种基于最小能量谐波相位偏转的音频水印算法。该算法依据音频幅值平均值具备良好的鲁棒性特点,将音频数据根据水印长度进行分段处理,对每个数据段去绝对值的平均值进行离散余弦变换,通过偏转最小能量谐波的相位实现水印信息的嵌入。为了控制水印的嵌入强度,引入了品质因子这一性能指标,将音频文件分解为若干水印可嵌入段和水印不可嵌入段,确保水印信息的嵌入对音频数据的改变控制在较小范围内。实验结果表明,该算法不仅具有非常好的不可感知性,而且对常规信号处理操作具备较好的鲁棒性。

**关键词:**离散余弦变换;符号;品质因子;MP3 压缩

**中图分类号:**TP309

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2016)05-0110-05

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2016.05.023

## An Adaptive Audio Watermarking Algorithm Based on Minimum Energy of Harmonic Phase Deflection

GAO Jian, LIU Xing-xing, YANG Ke

(School of Mechatronic Engineering and Automation, Shanghai University,  
Shanghai 200072, China)

**Abstract:** With the rapid development of computer network, the transportation of multi-media audio is becoming more and more convenient, which makes the right protection of audio works more important. For the symbol of spectral coefficients has robustness for spectral coefficients Discrete Cosine Transform (DCT), the novel audio watermarking algorithm based on the minimum energy-harmonic phase deflection has been proposed. Based on audio amplitude average with good robustness characteristics, the audio data is segmented according to the length of the watermarking, and average value out of absolute value for each data segment is carried on DCT, implementation of the embedding of watermarking through deflection of phase for minimum energy harmonic. In order to control the strength of the embedding watermarking, the algorithm uses the quality factor as a performance index. Audio files are divided into several watermark embedding segments and watermark segments cannot be embedded. This object is to ensure that the embedded watermark information has a little effect on audio data. The experimental results show that the proposed algorithm has a good performance in terms of imperceptibility, and also has a high robustness for the conventional signal processing operations.

**Key words:** discrete cosine transform; symbol; quality factor; MP3 compression

## 0 引 言

数字水印技术是指将具有标识性的信息嵌入到图像、音频、视频等载体中,但要保持载体原有的使用价值,并要尽可能避免被人类的感知系统察觉<sup>[1-3]</sup>。数字音频水印技术作为保护数字音频作品版权的重要手段,是当前学术界的一个研究热点。对于音频水印技术而言,近年来,研究人员提出了许多时、频域音频水

印算法。时域算法<sup>[4-5]</sup>主要有回声隐藏、相位编码等;频域算法主要有离散傅里叶变换(DFT)<sup>[6]</sup>、离散余弦变换(DCT)<sup>[7-9]</sup>、离散小波变换(DWT)<sup>[10-14]</sup>。

文献[3]从时域角度提出了一种基于邻域平均的鲁棒水印算法,该算法同时具备良好的不可感知性和对常规信号处理操作、去同步的抖动攻击以及随机剪切等的抵抗能力。但该算法对整段音频选取了相同的

收稿日期:2015-07-05

修回日期:2015-10-16

网络出版时间:2016-03-22

基金项目:国家自然科学基金青年基金(71201097)

作者简介:高 健(1961-),男,副教授,博士,研究方向为音频水印、图像编码;刘星星(1990-),女,硕士研究生,研究方向为音频水印。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20160322.1519.054.html>

量化步长而非自适应的量化步长。量化步长的取值偏小或偏大分别会影响水印的抵抗攻击能力和音频质量。文献[6]基于音频 DCT 系数的统计特征,提出了一种最大似然水印检测方法,采用扩频方式将水印嵌入 DCT 域,获取对应的高斯混合模型,再通过最大似然检测方法,进行水印信息的判断与提取。从检测可靠性上说,该文献提出的水印检测算法比传统检测方法更高。但在检测过程中,该方法还需通过密钥来寻找初始的水印嵌入位置,实际应用价值不高。

文中基于音频数据压缩前后的 DCT 系数符号具有良好的鲁棒性这一特性,提出了一种最小能量谐波相位偏转的音频水印算法。该算法依据中低频段最小能量谐波符号改变后导致的音频数据改动量是否在品质因子的控制范围内这一特性,将音频数据段分为水印可嵌入段与水印不可嵌入段。在水印可嵌入段中通过改变最小中低频段频谱系数符号,实现最小能量谐波相位偏转,从而完成水印信息的嵌入。由于谐波符号具有天然较好的鲁棒性,文中所提出的方法对如何协调水印鲁棒性和水印透明性上做出了一些有意义的探索。

## 1 DCT 系数符号鲁棒性分析

一维 DCT 变换公式如下:

$$F_k = c_k \sum_{i=1}^n x_i \cos \left[ \frac{(2i-1)(k-1)\pi}{2n} \right] \quad (1)$$

$$x_i = \sum_{k=1}^n c_k F_k \cos \left[ \frac{(2i-1)(k-1)\pi}{2n} \right] \quad (2)$$

其中,  $k, i = 1, 2, \dots, n$ 。

$$c_k = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{n}}, & k = 1 \\ \sqrt{\frac{2}{n}}, & 2 \leq k \leq n \end{cases} \quad (3)$$

设有一维数组  $X = [x_1, x_2, \dots, x_N]$ , 其中扰动量用  $\Delta X = [\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_N]$  来表示,  $x_i \geq 0$ ,  $|\Delta x_i| < x_i$ 。分别对数组  $X$  和  $[x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, \dots, x_N + \Delta x_N]$  施行 DCT 变换, 得:

$$F_k = c_k \sum_{i=1}^N x_i \cos \left[ \frac{(2i-1)(k-1)\pi}{2N} \right] \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \bar{F}_k &= c_k \sum_{i=1}^N (x_i + \Delta x_i) \cos \left[ \frac{(2i-1)(k-1)\pi}{2N} \right] = \\ &F_k + \Delta F_k \end{aligned} \quad (5)$$

由式(5)可见,数组  $X = [x_1, x_2, \dots, x_N]$  受到扰动影响后,对应的 DCT 频谱系数在以下两种情形下会发生变号:

(1) 当  $F_k > 0$ , 且  $\Delta F_k < 0$ ,  $F_k < -\Delta F_k$ , 则有  $\bar{F}_k < 0$ ;

(2) 当  $F_k < 0$ , 且  $\Delta F_k > 0$ ,  $-F_k < \Delta F_k$ , 则有  $\bar{F}_k > 0$ 。

设  $\Delta x_i = \pm Q_i \cdot x_i$ ,  $0 \leq Q_i < 1$ , 由于  $c_1 > 0$ ,  $x_i \geq 0$ , 则有  $F_1 = c_1 (x_1 + x_2 + \dots + x_N) > 0$ 。而  $|\Delta x_i| \leq x_i$ , 于是有:

$$|\Delta F_1| = |c_1 (\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_N)| < F_1$$

由此可知,当数组  $X = [x_1, x_2, \dots, x_N]$  的扰动量绝对值不超过其本身数值时,系数  $F_1$  不会发生变号,从而说明 DCT 系数中直流系数的符号鲁棒性很强。

设  $F_2 > 0$ ,  $N = 8$ ,  $a_i = \cos \left[ \frac{(2i-1)\pi}{2N} \right]$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ , 由式(4)得:

$$F_2 = c_2 [x_1 a_1 + x_2 a_2 + \dots + x_8 a_8]$$

令  $A_1 = c_2 [x_1 a_1 + x_2 a_2 + x_3 a_3 + x_4 a_4]$ ,  $A_2 = c_2 [x_5 a_5 + x_6 a_6 + x_7 a_7 + x_8 a_8]$ 。其中,  $A_1 > 0$ ,  $A_2 < 0$ 。为讨论方便,不妨设  $Q_i = Q$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ ),  $0 \leq Q < 1$ , 分别对前 4 点与后 4 点叠加正扰动或负扰动, 于是

$$\begin{aligned} \Delta F_2^{(1)} &= c_2 \sum_{i=1}^4 (Q x_i) \cos \left[ \frac{(2i-1)\pi}{2N} \right] + \\ &c_2 \sum_{i=5}^8 (Q x_i) \cos \left[ \frac{(2i-1)\pi}{2N} \right] = \\ &Q A_1 + Q A_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta F_2^{(2)} &= c_2 \sum_{i=1}^4 (-Q x_i) \cos \left[ \frac{(2i-1)\pi}{2N} \right] + \\ &c_2 \sum_{i=5}^8 (-Q x_i) \cos \left[ \frac{(2i-1)\pi}{2N} \right] = \\ &-Q A_1 - Q A_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta F_2^{(3)} &= c_2 \sum_{i=1}^4 (Q x_i) \cos \left[ \frac{(2i-1)\pi}{2N} \right] + \\ &c_2 \sum_{i=5}^8 (-Q x_i) \cos \left[ \frac{(2i-1)\pi}{2N} \right] = \\ &Q A_1 - Q A_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta F_2^{(4)} &= c_2 \sum_{i=1}^4 (-Q x_i) \cos \left[ \frac{(2i-1)\pi}{2N} \right] + \\ &c_2 \sum_{i=5}^8 (Q x_i) \cos \left[ \frac{(2i-1)\pi}{2N} \right] = \\ &-Q A_1 + Q A_2 \end{aligned}$$

此时  $\Delta F_2$  为最大负值(极端情形)。于是

$$\begin{aligned} \bar{F}_2^{(1)} &= F_2 + \Delta F_2^{(1)} = \\ &A_1 + A_2 + Q A_1 + Q A_2 = \\ &(1+Q) A_1 + (1+Q) A_2 > 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{F}_2^{(2)} &= F_2 + \Delta F_2^{(2)} = \\ &A_1 + A_2 - Q A_1 - Q A_2 = \\ &(1-Q) A_1 + (1-Q) A_2 > 0 \end{aligned}$$

$$\bar{F}_2^{(3)} = F_2 + \Delta F_2^{(3)} =$$

$$\begin{aligned} &A_1 + A_2 + QA_1 - QA_2 = \\ &(1 + Q)A_1 + (1 - Q)A_2 > 0 \\ &\bar{F}_2^{(4)} = F_2 + \Delta F_2^{(4)} = \\ &A_1 + A_2 - QA_1 + QA_2 = \\ &(1 - Q)A_1 + (1 + Q)A_2 \end{aligned}$$

这里  $\bar{F}_2^{(4)}$  可能为正,亦可能为负。经上述粗略分析,DCT 变换的第二个系数符号经扰动后变号的可能性较小,说明其符号鲁棒性较好。同理,对  $F_3 \sim F_8$  也可得到类似结论,但音频数据经压缩后,改变较大的是数据的高频部分,因此低中频段系数的符号鲁棒性较好。

表 1 给出了某一音频文件经 MP3 压缩攻击后 8 点 DCT 系数的变号概率表。

表 1 8 位 DCT 变换的各位置系数变号概率表

位置序号	概率
位置 1	0
位置 2	0.020 0
位置 3	0.023 0
位置 4	0.027 5
位置 5	0.036 8
位置 6	0.041 3
位置 7	0.049 0
位置 8	0.063 8

表 1 数据通过如下对比实验获得:选择某一 wav 音频文件 A(码率 1 411 kbps,采样率 44.1 kHz),先作 MP3 压缩处理,获得 MP3 音频文件 B(码率 128 kbps,采样率 44.1 kHz),再将音频文件 B 解压为 wav 音频文件 C。依次计算 A 和 C 相邻 5 个音频采样点的绝对值平均值,每 8 点绝对值平均值做 1 次 DCT 变换,连续做了 4 000 次后,得到 8 点 DCT 变号概率。取单个采样点的绝对值进行 8 点 DCT 变换,与取 5 个采样点的绝对值平均值进行 8 点 DCT 变换相比,虽然水印嵌入容量更大,但水印的鲁棒性较差。由表 1 可知,直流分量频谱系数的符号在压缩攻击后系数符号不变,中低频系数变号概率较小,也小于高频系数的变号概率,由此说明中低频系数的符号具有较好的鲁棒性。

2 中低频段最小能量谐波偏转的音频水印算法

2.1 品质因子

结合人类的感覺系統和心理學的感知机理对数字水印算法进行研究,是近年来该领域的研究热点。对于音频水印算法来说,由于人类的听觉系统要比视觉系统敏锐得多,所以数字音频水印算法对透明性的要

求要比图像水印算法高得多。一般情况下,嵌入水印的强度越大,算法的鲁棒性越好,透明性越差;反之,嵌入水印的强度越小,算法的鲁棒性越差,透明性越好。总之,鲁棒性和透明性之间相互矛盾。为了解决这个严重的矛盾关系,文中通过品质因子的引入,控制了水印嵌入强度过大的问题。

设  $x(i)$  表示原始音频时域信号幅值绝对值或是若干个原始音频时域信号幅值绝对值的平均值,  $\hat{x}(i)$  为含有水印的音频时域信号幅值绝对值或是若干个含有水印的音频时域信号幅值绝对值的平均值,品质因子  $Q(i)$  定义为:

$$1 - Q(i) \leq \frac{\hat{x}(i)}{x(i)} \leq 1 + Q(i) \tag{6}$$

其中,  $0 \leq Q(i) < 1, x \neq 0$ 。

文中  $Q(x)$  按式(7)给出:

$$Q(i) = ae^{bx(i)} \tag{7}$$

$$\text{其中, } a = \frac{C \ln Q_{\min} - D \ln Q_{\max}}{C - D}, b = \frac{\ln Q_{\max} - \ln Q_{\min}}{C - D}。$$

这里  $C = \min\{x(i)\}, D = \max\{x(i)\}$ , 并取  $Q_{\min} = 0.01, Q_{\max} = 0.05$ 。

2.2 可嵌入水印与不可嵌入水印数据段

文中算法取音频文件相邻 5 点绝对值平均值,按 8 点绝对值平均值做 DCT 变换,相邻 8 点绝对值平均值称为一个水印信息(0 或 1)的嵌入段。选取 DCT 中低频段(第 2~5 个系数)中绝对值最小的系数,判断该数据段是否能嵌入水印,具体做法如下:

(1)按 8 点位置品质因子计算各点可改动的最大量:

$$\Delta x(i) = ae^{bx(i)} x(i), i = n + 1, n + 2, \dots, n + 8$$

其中:  $n$  为前一段数据最后一个节点的下标;  $x(i)$  为原始音频数据中相邻 5 点绝对值的平均值。

(2)计算  $DCT(x(n + 1), x(n + 2), \dots, x(n + 8))$ , 确定最小谐波系数(最小系数)位置,即

$$\begin{aligned} &|f_m| = \\ &\min\{|f(n + 2)|, |f(n + 3)|, \dots, |f(n + 5)|\} \end{aligned}$$

其中:  $m \in \{2, 3, 4, 5\}$  为最小系数所在节点位置;  $f_m$  称为最小系数;  $f(n + i)$  为 DCT 变换的频谱系数。

(3)确定数据段是否为可嵌入水印段。

计算  $IDCT(0, \dots, 1, \dots, 0)$ , 其中数值“1”所在位置为  $m$ , 得  $\{y_1, y_2, \dots, y_8\}$ , 令

$$\begin{aligned} &\Delta |f_m| = \\ &\min\left\{\frac{\Delta x(n + 1)}{|y_1|}, \frac{\Delta x(n + 2)}{|y_2|}, \dots, \frac{\Delta x(n + 8)}{|y_8|}\right\} \end{aligned} \tag{8}$$

其中,  $\Delta|f_m|$  称为最小系数  $f_m$  在品质因子控制下的最大修改量。

如果  $f_m > 0$  且  $f_m - \Delta|f_m| < 0$ , 或  $f_m < 0$  且  $f_m + \Delta|f_m| > 0$ , 则该段数据为可嵌入水印段; 如果  $f_m > 0$  且  $f_m - \Delta|f_m| > 0$ , 或  $f_m < 0$  且  $f_m + \Delta|f_m| < 0$ , 则该段数据为不可嵌入水印段。

### 2.3 水印嵌入算法

假设原始音频信号为  $A$ , 数字水印为二值图像, 记为  $W$ , 音频水印嵌入过程如下:

步骤 1: 将音频  $A = \{f(i), i \in [1, \text{Length}]\}$  平均分成  $\text{Size} \times \text{Times}$  个数据段, 每个数据段包含 40 个音频采样点。其中,  $\text{Length}$  表示音频文件长度,  $\text{Size}$  表示水印长度,  $\text{Times}$  表示水印重数。

步骤 2: 对每个数据段 40 个数据依次按 5 点计算绝对值平均值, 共计 8 个绝对值平均值; 原始音频数据  $A$  转化为绝对值平均值数据  $B$ ,  $B$  大小为  $\text{Size} \times \text{Times} \times 8$ 。

步骤 3: 按照 2.2 节所述方法判断各数据段是否为可嵌入水印数据段。

步骤 4: 若数据段为可嵌入数据段, 则在 DCT 系数的第 2~5 位置中选取第二最小系数  $f_s$ , 其中

$$|f_s| = \min\{|f(n+2)|, |f(n+3)|, \dots, |f(n+5)|\}$$

这里,  $s \in \{2, \dots, 5\}$ ,  $f_s \neq f_m$ 。

步骤 5: 按式(8) 计算最小系数  $f_m$  的最大修改量  $\Delta|f_m|$ 。

步骤 6: 水印嵌入方法。

①若该数据段嵌入水印信息“1”, 且  $f_m > 0$ , 则视为水印信息已自然嵌入。

②如果  $f_m < 0$  且  $|f_m + \Delta|f_m|| < |f_s|$ , 则令  $\bar{f}_m = f_m + \Delta|f_m|$ , 其中  $\bar{f}_m > 0$ ; 如果  $|f_m + \Delta|f_m|| > |f_s|$ , 则令  $\bar{f}_m = |f_s|$ ,  $f_s = \text{sgn}(f_s) \times (|f_m + \Delta|f_m|)$ 。

其中,  $\text{sgn}(f_s)$  为  $f_s$  的符号。

同理, 若数据段嵌入水印信息“0”, 采用类似方法处理。

步骤 7: 对修改后频谱系数  $\{f_1, \dots, \bar{f}_m, \dots, f_8\}$  进行 IDCT 变换, 得到  $\{y_1, y_2, \dots, y_8\}$ 。其中,  $y_1, y_2, \dots, y_8$  为嵌入水印信息后数据段的绝对值的平均值。

步骤 8: 按照  $y_1, y_2, \dots, y_8$  的取值对数据段中的 40 个点进行修正, 以嵌入水印信息。

### 2.4 水印提取算法

假设含有水印的音频信号为  $C$ ,  $\bar{W}$  为所提取的水印信息, 水印的提取过程如下:

步骤 1: 将音频  $C = \{f_c(i), i \in [1, \text{Length}]\}$  平均分成  $\text{Size} \times \text{Times}$  个数据段, 每个数据段包含 40 个音频采样点。

步骤 2: 对每个数据段 40 个数据依次按 5 点计算绝对值平均值, 共计 8 个绝对值平均值; 将音频数据  $C$  转化为绝对值平均值数据  $D$ ,  $D$  大小为  $\text{Size} \times \text{Times} \times 8$ 。

步骤 3: 结合 2.2 节所述方法, 判断各数据段是否为已植入水印信息数据段。

步骤 4: 若数据段为已嵌入水印信息数据段, 则在 DCT 系数的第 2~5 位置中选取最小系数  $f_m$ 。若满足  $f_m > 0$ , 则  $\bar{W} = 1$ ; 若满足  $f_m < 0$ , 则  $\bar{W} = 0$ 。

步骤 5: 结合 2.3 节所述方法, 每个水印信息(0 或 1)均被多次重复嵌入, 提取水印时, 统计同一水印信息提取后“1”的个数与“0”的个数, 如果“1”的个数大于等于“0”的个数, 则判定为“1”; 否则为“0”。

## 3 实验结果

由于水印可嵌入段和不可嵌入段完全依赖于对应的最小谐波系数的数值, 而该数值的大小会因音频数据的改动而发生一定范围内的改变。因此在水印提取过程中, 会因为这些关键数值的改动而导致水印可嵌入段和不可嵌入段的误判。为了较好地解决这个问题, 文中采用多重(40 重)水印嵌入的方法, 按照少数服从多数的原则定义对应的水印信息。以下实验将某音乐文件按照水印图像大小和水印嵌入重数分为  $64 \times 64 \times 40$  段。

文中选取了 4 首不同风格的音乐文件进行实验。其中一双声道音频文件的各参数如下: 采样率为 44.1 kHz, 比特率为 16 b/s, 时长为 280 s。水印为  $64 \times 64$  的二值图像。实验内容包括:

(1) MP3 压缩: 先将含水印音频分别压缩到 320 kbps, 192 kbps, 128 kbps, 然后再解压还原到 wav 格式文件;

(2) 叠加噪声: 加入高斯白噪声, 信噪比为 35 dB;

(3) 低通滤波: 采用 6 级巴特沃斯低通滤波器, 截止频率为 10 kHz;

(4) 重量化: 先将音频从 16 比特量化到 8 比特, 然后再量化到 16 比特;

(5) 重采样: 先将音频下采样到 22.05 kHz, 然后再上采样到 44.1 kHz<sup>[15-16]</sup>。

在水印鲁棒性的客观评估方面, 采用误码率(Bit Error Ratio, BER)和归一化相似系数 NC 衡量水印的提取准确度。嵌入水印信息后, 音频的信噪比 SNR 为 40.425 1 dB。常规信号处理后水印检测的实验结果



如表 2 所示。

表 2 常规信号处理后水印检测结果

攻击类型	BER	NC
MP3/320 kbps	0.008 5	0.994 3
MP3/192 kbps	0.043 7	0.971 2
MP3/128 kbps	0.145 8	0.905 3
白噪声/35 dB	0.086 9	0.943 5
低通滤波/10 kHz	0.004 6	0.996 9
重量化/8 bit	0.012 0	0.992 1
重采样/22.05 kHz	0.005 9	0.996 1

从表 2 实验数据可以看出,在各类攻击下,文中算法具有较低的误码率和较高的相似系数。该算法对常规信号处理的攻击具备较好的抵抗能力。另一方面,为了更直观地评估算法的抵抗性能,还可以观察水印提取图像的可辨识度,如图 1 所示。

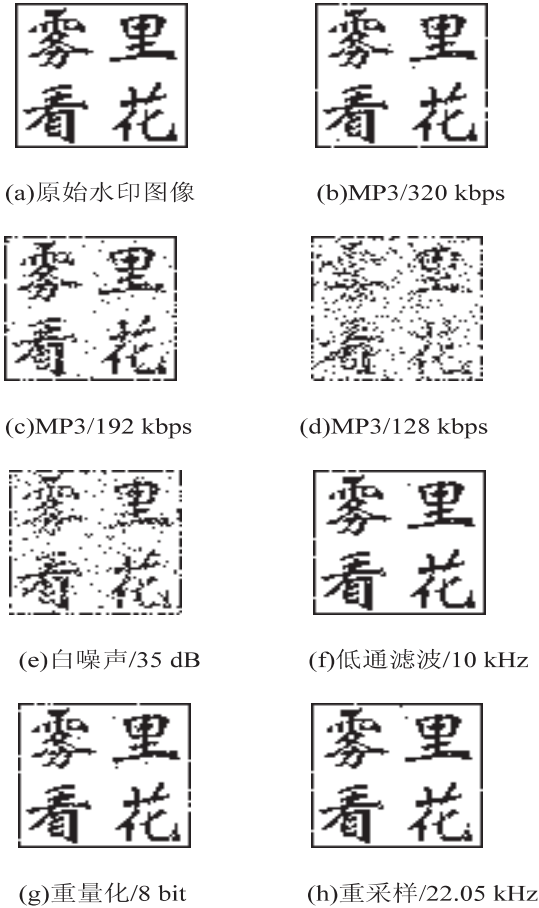


图 1 原始水印图像和水印提取图像

结合图 1 的提取水印图像和各个攻击类型来分析,水印的提取准确度随 MP3 压缩程度的增大有所降低,在 MP3 格式码率为 128 kbps 下,所提取的水印图像仍可通过肉眼较清晰地辨识出水印信息。并且,从提取的水印图像上可以看出,算法对添加白噪声、重量化以及重采样等攻击均具有较好的鲁棒性。

为了进一步测试算法对音频文件听觉质量的影

响,采用了国际电信联盟 ITU 推荐的 BS. 1116 定义的主观评价标准 SDG 和 BS. 1387 音频质量听觉评价标准中的 PEAQ 测试工具对含水印音频进行主观和客观的评价。文中对 4 首不同风格的音乐进行了 SDG 和 PEAQ 的实验测试,结果如表 3 所示。

表 3 SDG 和 PEAQ 测试值

测试标准	音乐 1	音乐 2	音乐 3	音乐 4
SDG	-1	0	-1	0
PEAQ	-0.190 8	-0.196 9	-0.199 1	-0.206 9

通过对表 3 测试数据的分析,SDG 测试平均分值为-0.500 0,平均 PEAQ 值约为-0.198 4,其中最小 PEAQ 值为-0.206 9,最大 PEAQ 值为-0.190 8。实验结果表明,水印算法具备较好的不可感知性。

4 结束语

文中结合理论分析和对比实验对 DCT 系数符号的鲁棒性进行分析,验证了中低频段的 DCT 系数符号具备较好的鲁棒性。通过品质因子的引入对水印嵌入强度进行了控制,从而较好地实现了水印信息的不可感知性。同时,利用多次重复嵌入方法,提高了提取水印的准确率。实验结果表明,提出的水印算法对常规信号处理操作,尤其是 MP3 压缩类攻击,在保证一定的音频质量前提下,具备较好的抵抗力。但是,在判断可嵌入水印段和不可嵌入水印段的过程中,由于各类攻击的影响会导致误判,在一定程度上降低了水印提取的成功率。另一方面,文中提出的算法对数据长度较短的音频文件可能因数据量不够而无法完成水印嵌入。以上问题有待进一步的分析与研究。

参考文献:

[1] 金 聪. 数字水印理论与技术[M]. 北京:清华大学出版社,2008:1-20.

[2] 李秀滢,段晓毅,王建新. 一种心理声学模型的自同步音频水印方案[J]. 计算机工程与应用,2013,49(8):96-99.

[3] Cox I J, Miller M I. The first 50 years of electronic watermarking[J]. Journal of Applied Signal Processing, 2002, 2: 126-132.

[4] 张金全,王宏霞,李学华. 基于邻域平均的鲁棒音频水印算法[J]. 铁道学报,2012,34(7):43-48.

[5] Xiang Y, Natgunanathan I, Peng D, et al. A dual-channel time-spread echo method for audio watermarking[J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2012, 7(2): 383-392.

[6] Singh J, Garg P, De A. Multiplicative watermarking of audio in DFT magnitude[J]. Multimedia Tools and Applications, 2014, 71(3): 1431-1453.

表 2 输出结果

样品类别	不合格率/%	不合格样品详细信息
乳制品	50	样品名称:乳制品 B, 企业名称:企业 B, 批号:A123457 不合格。不合格项目:三聚氰胺。样品名称:乳制品 C,企业名称:企业 C, 批号:A123458 不合格。不合格项目:沙门氏菌
牙膏产品	25	样品名称:牙膏产品 A,企业名称:企业一,批号:X0123698 不合格。不合格项目:铅含量

4.3 用户接口层模块设计

用户接口层是连接用户与平台的纽带,包括门户网站、APP、微信等丰富的服务展现形式。用户不管是用计算机还是用手机等智能终端,都可以与平台进行随时随地的交互,获取平台所提供的服务。门户网站用 Html5,CSS3 技术实现。APP 要覆盖主流的智能系统,包括苹果版、Android 版等。通过微信接口,开发微信商城。通过这些用户接口的设计,方便用户使用质量检测平台,获得了较好的用户体验。

5 结束语

在互联网时代,为了更好地为质量检测机构、企业、政府和公众服务,构建了互联网+质量检测平台。该平台创造了一种全方位的服务模式,连接着各利益相关方,实现了在线产品质量检测和质检大数据分析服务,真正实现了以用户为中心的互联网模式。

参考文献:

[1] 2015 年政府工作报告[R/OL]. 2015-03-17. [http://politics. people. com. cn/n/2015/0317/c1024-26702211. html](http://politics.people.com.cn/n/2015/0317/c1024-26702211.html).  
[2] 互联网+[EB/OL]. 2015. [http://baike. baidu. com/link? url = 2onGGEjBsYHqjE6Xxe5k8yOfEQ \\_ Krj7WfuUwE8CLoDUL 90AtWDRcBsFbFfHSKAM7ukwAAN1QmHyhVgwx7JQ8La](http://baike.baidu.com/link?url=2onGGEjBsYHqjE6Xxe5k8yOfEQ_Krj7WfuUwE8CLoDUL90AtWDRcBsFbFfHSKAM7ukwAAN1QmHyhVgwx7JQ8La).  
[3] 王继业,程志华,彭林,等. 云计算综述及电力应用展望[J]. 中国电力,2014,47(7):108-112.  
[4] Dean J, Ghemawat S. MapReduce: simplified data processing on large clusters[J]. Communications of the ACM, 2008, 51

(1):107-113.

[5] Apache Hadoop NextGen MapReduce (YARN) [EB/OL]. 2014-06-21. [http://hadoop. apache. org/docs/r2. 4. 1/ha- doop-yarn/hadoop-yarn-site/YARN. html](http://hadoop.apache.org/docs/r2.4.1/hadoop-yarn/hadoop-yarn-site/YARN.html).  
[6] Hadoop: writing YARN applications[EB/OL]. 2015-06-29. [http://hadoop. apache. org/docs/current/hadoop - yarn/ha- doop-yarn-site/WritingYarnApplications. html](http://hadoop.apache.org/docs/current/hadoop-yarn/hadoop-yarn-site/WritingYarnApplications.html).  
[7] MapReduce tutorial[EB/OL]. 2015-06-29. [http://hadoop. apache. org/docs/current/hadoop - mapreduce - client/hadoop - mapreduce - client - core/MapReduceTutorial. html](http://hadoop.apache.org/docs/current/hadoop-mapreduce-client/hadoop-mapreduce-client-core/MapReduceTutorial.html).  
[8] HDFS users guide[EB/OL]. 2015-06-29. [http://hadoop. a- pache. org/docs/current/hadoop - project - dist/hadoop - hdfs/ HdfsUserGuide. html](http://hadoop.apache.org/docs/current/hadoop-project-dist/hadoop-hdfs/HdfsUserGuide.html).  
[9] 李静梅,张宝权,丁楠. Yarn 架构下基于 GA 的 Web 日志挖掘技术[J]. 计算机应用研究,2014,31(11):3388-3391.  
[10] 李瑞轩,廖东杰,辜希武,等. YARN 平台上的并行主题标引算法[J]. 计算机科学与探索,2014,8(12):1409-1421.  
[11] 李建江,崔健,王聃,等. MapReduce 并行编程模型研究综述[J]. 电子学报,2011,39(11):2635-2642.  
[12] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 22388-2008,原料乳与乳制品中三聚氰胺检测方法[S]. 北京:国家质量监督检验检疫总局,2008.  
[13] 中华人民共和国卫生部. GB4789. 4-2010,食品安全国家标准 食品微生物学检验 沙门氏菌检验[S]. 北京:中华人民共和国卫生部,2010.  
[14] 国家质量监督检验检疫总局. GB8372-2008,牙膏[S]. 北京:国家质量监督检验检疫总局,2008.

(上接第 114 页)

[7] 林晓丹. 基于高斯混合模型的 DCT 域水印检测方法[J]. 自动化学报,2012,38(9):1445-1448.  
[8] 任克强,李慧,谢斌. 基于 DWT 和 DCT 的自适应双重音频水印[J]. 计算机应用研究,2013,30(7):2120-2123.  
[9] 凡超,王忠,肖留威,等. 改进的 DCT 域音频水印算法[J]. 计算机工程与设计,2011,32(4):1351-1355.  
[10] Alshammas H A. Robust audio watermarking based on dynamic DWT with error correction[C]//Proceedings of ITU kaleidoscope: building sustainable communities. [s. l.]: IEEE, 2013:1-6.  
[11] 刘芳,李学斌. 一种基于混沌与 DWT 的数字音频水印算

法[J]. 微计算机信息,2011,27(1):193-194.

[12] 黄雄华,蒋伟贞,王宏霞,等. 基于比值的小波域数字音频盲水印算法[J]. 铁道学报,2011,33(5):66-71.  
[13] 马德洋,卢忱,范九伦. 一种均匀量化小波能量的盲提取音频水印算法[J]. 微电子学与计算机,2013,30(3):43-46.  
[14] 王向阳,牛盼盼. 基于音频统计特性的数字水印嵌入算法[J]. 自动化学报,2008,34(8):1001-1003.  
[15] 韩纪庆. 音频信息处理技术[M]. 北京:清华大学出版社,2007.  
[16] 程佩青. 数字信号处理教程[M]. 北京:清华大学出版社,2007:69-77.