

频谱熵特征识别的抗去同步鲁棒性 MP3 水印算法

刘 婷 马兆丰 蒋 铭

(北京邮电大学信息安全中心 北京 100876) (北京国泰信安科技有限公司 北京 100086)

摘 要 提出了一种鲁棒的、将离散余弦系数(MDCT)频谱熵修正为隐含同步码的压缩域水印,实现了基于音频内容的自同步。算法结合 MP3 编解码原理对解压后的音频数据分块实施重复嵌入,并根据心理声学模型的掩蔽效应选取合适的嵌入位置,通过处理低频 DWT 系数完成嵌入。将非压缩域音频信号重新压缩为含有水印信息的 MP3 码流。在解码过程中通过频谱熵关系序列定位水印提取位置,实现了水印的盲提取。仿真实验结果表明,算法在保证水印不可感知性的情况下,对抵抗去同步攻击以及 Stirmark 软件的常见攻击具有良好的鲁棒性。

关键词 音频水印, MDCT 频谱熵, 隐含同步, 特征识别

Robust MP3 Audio Watermarking Algorithm Based on MDCT Spectral Entropy Recognition

LIU Ting MA Zhao-feng JIANG Ming

(Information Security Center, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

(Beijing National Security Science and Technology Co. Ltd, Beijing 100086, China)

Abstract An innovative robust audio watermarking scheme based on using MDCT spectral entropy as implicit synchronization to achieve self-synchronization was proposed in this paper. The algorithm makes full use of MP3 compression mechanism to implement reduplicate embedding on audio segments after decoding, combining the masking effect in psychoacoustic model, determines the suitable low-frequency DWT coefficients to deal with. Signals are recompressed to form MP3 bitstream which contains watermarking information. Extracting can accomplished without the original audio and is guaranteed by identifying the sequence of MDCT spectral entropy. The experimental results show the proposed scheme itself can achieve good excellent robustness to desynchronization attacks and common audio processing methods created by Stirmark.

Keywords Audio watermarking, MDCT spectral entropy, Implicit synchronization, Feature recognition

1 引言

随着数字音乐制品的大量制作和发行,特别是 MP3 的流行,数字音频版权保护^[1]的重要性日益突出。数字水印技术^[2,3]在版权领域的广泛应用及其技术的日趋成熟化,推动了音频数字水印技术的发展。本文的研究正是基于 MP3 音频水印技术而展开的。

人类听觉系统(HAS)的敏感性以及网络上多样的音频编辑软件使得音频水印的研究具有更大的挑战性。近年来,针对音频水印提出了多种基于时域、频域及压缩域的算法。时域音频水印算法计算复杂度低且容易实现,但对攻击的抵抗能力较差。Bassia^[4]等人基于 LSB 方法提出了一种盲水印方案,该方法具有一定的顽健性,但其本质上是 1 比特水印算法。Cvejic^[5]等人利用 HAS 中的掩蔽效应并应用扩频技术完成水印嵌入,其具有较高的实时性和鲁棒性,缺点是没有引入任何的同步机制。频域算法的基本思想是通过改变音频信号的频域系数来隐藏水印,与时域算法相比具有较高的鲁棒

性。Lie^[6]等人提出了幅度调制的频域水印算法,此算法对音频的失真较大。王向阳^[7]提出的小波域自适应量化算法,实现了盲检测,并对叠加噪声、有损压缩、重采样、重量化等攻击具有较好的鲁棒性,但其不能抵抗幅度缩放攻击。随着以 MP3 为代表的压缩格式音乐的流行,压缩域水印应运而生。Wang^[8]等人提出基于压缩域上 MDCT 变换(Modified Discrete Cosine Transform, MDCT)的水印方案,即 MP3 压缩和水印嵌入同时进行。该方法克服了 PCM 数据不能抵抗多次解压缩/压缩攻击的缺点,但是不能完全有效地检测出嵌入的水印信息且水印的嵌入容量小。Koukopoulos^[9]等人提出通过对缩放比例因子带的处理来完成水印的嵌入。

大多数音频水印算法是将水印嵌入到特定位置并从该位置进行检测,而由剪切、添加或删除样本等去同步攻击引起的位置将直接影响到水印的提取,因此在算法中引入同步机制显得尤为重要。

本文采用基于音频内容的实际特征——MDCT 频谱熵作为标识水印嵌入起始位置的同步码,并利用特征识别的思

到稿日期:2011-05-13 返修日期:2011-07-31 本文受国家 973 项目(2007CB311203),国家自然科学基金(60803157,90812001),国家 242 项目(2009A105),国家标准制定计划(20080200-T-339),国家质检公益性科研专项(10-126)资助。

刘 婷(1987—),女,硕士生,主要研究方向为信息隐藏、数字水印等,E-mail:guizhi19871201@163.com;马兆丰(1974—),男,博士,讲师,主要研究方向为数字版权管理、数字内容安全、计算机网络安全;蒋 铭(1984—),男,博士生,主要研究方向为信息隐藏、数字水印。

想在提取时完成同步码的定位,实现了水印的自同步。算法将 MP3 文件解压,在非压缩域对音频信号分段处理,并结合掩蔽效应选取嵌入分块。采用量化机制处理低频 DWT 系数实现水印嵌入,最后将非压缩域的 PCM 数据重新压缩为含有水印信息的 MP3 文件。

2 算法理论基础

2.1 MP3 编解码原理

MP3 编码通常采用的是有损压缩的方式。编码过程对 PCM 原始音频采样信号实施一系列的处理后,将输出的比特流封装为 MP3 数据帧,每一帧分为两个粒度组。这两个粒度组在编解码时是相互独立的,从每一个粒度组中可以解码出 576 个 PCM 数据,两个粒度组共解出 1152 个 PCM 数据。其具体的编解码流程如图 1 所示。

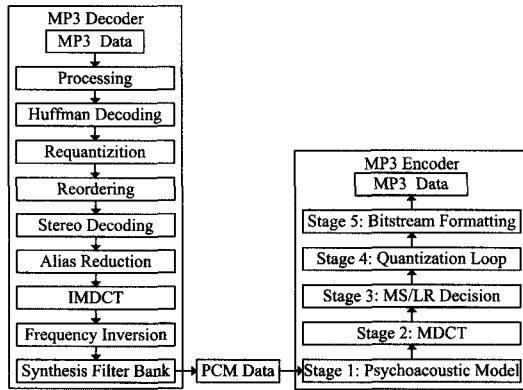


图 1 MP3 编解码流程图

2.2 MDCT 频谱熵

基于音频内容的熵可以准确地表征音频信号的特征,并且对攻击具有一定的鲁棒性。其鲁棒性表现在音频信号遭受攻击后频谱熵曲线仍与原始音频信号的频谱熵曲线保持高度的一致性。

按照文献[10]的思想来计算 MDCT 系数的频谱熵。MP3 编解码过程中的每一个粒度组对应着 576 条频率线,根据人耳特性被分成多个组,每个组对应若干个尺度因子,这些组被称作尺度因子带。子带的划分与编码过程中采用的窗口类型相关,文中参照文献[11]按长窗口来划分子带。长窗有 21 个尺度因子带,选取第 2—18 个尺度因子带进行频谱熵的计算。每 20 个粒度组构成一个聚块,并且相邻两聚块之间有 18 个相同的粒度组。

若 N 为 MP3 压缩数据流中分块的数目, $SBE(i, j)$ 为第 i 块中第 j 个子带的能量,其计算公式如式(1)所示,其中 $s(m, n)$ 为第 m 个粒度组的第 n 个 MDCT 系数; $MDCTT_j$ 和 $MDCTB_j$ 分别为第 j 个子带的 MDCT 系数索引的上下界限。MDCT 熵 $H(i)$ 的计算公式如式(3)所示。

$$SBE(i, j) = \sum_{m=2i-1}^{2i+(j-2)} \sum_{n=MDCTB_j}^{MDCTT_j} \|s(m, n)\|^2 \quad (1)$$

$$P(i, j) = \frac{SBE(i, j)}{\sum_{j=1}^{17} SBE(i, j)} \quad (2)$$

$$H(i) = - \sum_{j=1}^{17} P(i, j) \log_2 P(i, j) \quad (3)$$

式中, $i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, 17$

3 水印算法

本文算法的主要步骤为:(1)在原始 MP3 音频信号解码

为 PCM 数据非压缩数据域的过程中,计算音频信号的 MDCT 频谱熵序列,以此确定隐含同步码;(2)对水印信息进行置乱处理;(3)将非压缩域的信号分段,每段音频信号通过结合人类听觉系统的掩蔽效应自适应地选取候选音频分块;(4)采用量化低频 DWT 系数的机制完成水印信号的嵌入。

3.1 同步机制设计

3.1.1 隐含同步码

抵抗同步攻击的方法^[12]主要有穷举搜索、显式同步、自相关、隐含同步等。目前大多数的水印算法都利用显式同步策略来抵抗去同步攻击。文献[13]就选取了稳健的 16 位巴克码作为同步标记。显式同步能够一定程度上抵抗去同步攻击,但是却存在安全性问题^[2],并且需要在音频信号中嵌入额外的同步码,影响了算法的不可感知性。

隐含同步的基本思想是通过媒体自身的特征来标识水印嵌入的位置,克服了嵌入同步标识而影响音频内容不可感知性的缺点。经受各种攻击后仍能保持基本不变的音频特征即可用作隐含同步码。

根据前一节中定义的 MDCT 频谱熵的计算公式,现按照如下规则求音频信号的频谱熵关系序列 $S(i)$,其中 $1 \leq i \leq N$ 。

$$S(i) = \begin{cases} 1, & H(i) > H(i+1) \\ 0, & H(i) \leq H(i+1) \end{cases} \quad (4)$$

结合文献[10]给出的仿真实验结果,遭受攻击前后的 MDCT 频谱熵曲线保持高度的相似性,即攻击前后的频谱熵关系序列的相似度非常高。基于此,本算法选取 MDCT 频谱熵关系序列用作水印的隐含同步。

3.1.2 隐含同步码选取原则

遍历所有原始信号所得的 MDCT 频谱熵关系序列 $S(i)$,选取 y 个 p 位的 0、1 组成的二进制序列 $Syn_k(k)$,其中 $1 \leq k \leq y, 1 \leq k \leq p$;选取同步码的前提是保证相邻两同步码之间的音频段足够嵌入完整的水印信息。

为了增强同步码的稳健性,应该充分考虑到同步码信息的长度及同步码中 0、1 交替出现的概率问题等。本文取 $p=32$,即选取 32 位的频谱熵关系序列。同时,为了保证同步码识别的正确率,选取的同步码应尽可能多地包含 010 或者 101,即尽可能选取 MDCT 频谱熵极值点附近的二进制序列。

3.1.3 隐含同步码识别

水印提取端进行同步码检测时,由水印音频信号同样可以得到相应的 MDCT 频谱熵关系序列。在此序列中逐个搜寻 $Syn_k(k)$,若搜寻到,则认为该位置为水印嵌入开始的位置。本文设计了 y 个 $Syn_k(k)$ 用来标识水印重复嵌入时不同的起始位置。

3.2 水印信息预处理

对水印信息采用置乱预处理可提高水印的安全性,增强水印抵抗恶意攻击的能力。经过置乱后的水印信息将由原始有意义的信息变为一串杂乱的序列,破坏了图像自身的属性以及信息间的相关性。鉴于此,非法者即使截获了水印信息,但仍无法正确地获取到原始水印信息,从而不能达到攻击的目的。

本文对二值水印图像进行 Arnold 置乱,并对其降维处理后得到一维序列 $W = \{w_i | w_i = 0 \text{ 或 } 1\}$,其中 $1 \leq i \leq Len, Len = W \times H, W, H$ 分别代表水印图像的高度和宽度。

3.3 音频信号分段处理

对解压后的完整音频数据,确定嵌入位置后进行分段,

每段用于嵌入水印信息的音频信号的表达式见式(5)。

$$S_k = \{s_k(i) = s((k-1)N+i) \mid k=1,2,\dots,Len; i=1,2,\dots,N\} \quad (5)$$

式中, Len 个音频段中分别含 N 个数据, $s_k(i)$ 为第 k 段第 i 个音频数据的幅度值。

将 $s_k(i)$ 继续划分为 P 块, 音频划分结构如图 2 所示。从 P 块中根据 HAS 的掩蔽效应选取候选分块进行水印的嵌入。人类听觉模型的时域掩蔽效应是指能量高的信号前后短时间内发生的少量变化难以被察觉。由此推出短时能量较大的音频段可以更好地隐藏水印信息。为了使算法能达到更好的不可感知性, 在音频分段中选取 $h = \text{floor}(P/2) + 1$ 块具有较大短时能量的音频信号进行水印嵌入。其中, 信号的短时能量计算公式定义如下:

$$E(k) = \sum_{i=1}^N s^2(kN+i) \quad (6)$$

式中, $1 \leq k \leq Len$ 。

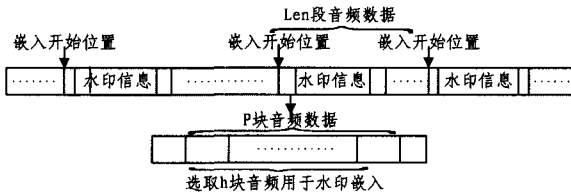


图2 音频划分结构图

3.4 水印嵌入

上述过程对水印信息进行了预处理, 并给出了水印嵌入的方案: 先将 MP3 码流解压缩到 PCM 非压缩域数据, 然后进行水印嵌入。具体每个分块的嵌入步骤如下:

(1) 对根据时域掩蔽效应选取出的音频块 $s_k(i)$ ($1 \leq i \leq h$) 实施 H 级小波变换, 其中 $s_k(i)^H$ 为音频数据 $s_k(i)$ 的第 H 级近似分量;

(2) 对音频块的小波系数进行随机置乱后得:

$$S_k(i)^H = \{s_k(i)(j)^H, i=1,2,\dots,h; 0 \leq j < N/p\} \quad (7)$$

并计算每个分块的平均值 $ave_k(i)$, 且有如下定义:

$$z_k(i) = ave_k(i)/q; t_k(i) = \text{mod}(\lfloor z_k(i) \rfloor, 2) \quad (8)$$

为了增加算法抵抗攻击的能力和水印的不可见性, 量化步长 q 自适应地选取相应音频分段的小波系数绝对值的平均值。

(3) 按照如下规则嵌入水印信息:

$$s_k'(i)(j)^H = \begin{cases} s_k(i)(j)^H, t_k(i) = w_i \\ s_k(i)(j)^H + \frac{3}{2}q - (z_k(i) - \lfloor z_k(i) \rfloor) \times q, \\ \quad t_k(i) \neq w_i \text{ and } (z_k(i) - \lfloor z_k(i) \rfloor) \geq \frac{1}{2}q \\ s_k(i)(j)^H - \frac{3}{2}q + (\lfloor z_k(i) \rfloor + 1 - z_k(i)) \times q, \\ \quad t_k(i) \neq w_i \text{ and } (z_k(i) - \lfloor z_k(i) \rfloor) < \frac{1}{2}q \end{cases} \quad (9)$$

(4) 将修改后的 $s_k(i)^H$ DWT 系数逆置乱得到新的近似分量的小波系数。

(5) 进行小波逆变换, 对每一音频块按照上述步骤进行处理, 最后得到嵌入水印的 PCM 非压缩域音频信号。

(6) 将 PCM 音频数据压缩为 MP3 音乐。至此, MP3 音乐嵌入水印的过程结束。其流程如图 3 所示。

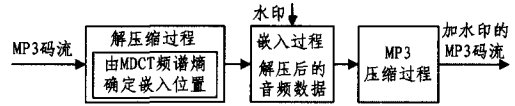


图3 水印嵌入流程图

3.5 水印提取

本文水印算法提取时不需要原始音频信号的参与, 实现了盲提取。通过将 MP3 码流解压缩得到非压缩域 PCM 数据, 然后进行水印的提取, 其具体步骤为:

(1) 根据同步码设计原理定位水印信息嵌入的起始位置。

(2) 将嵌入位置后含有水印的音频信号按照嵌入时的分段原则进行分块, 并按相同的候选音频块选取规则得到对应的分块 $s_k'(i)$ ($1 \leq i \leq h$)。

(3) 对 $s_k'(i)$ 实施小波变换, 得到置乱后的第 H 级近似分量 $s_k'(i)^H$, 分别计算出 $ave_k'(i)$, $z_k'(i)$ 和 $t_k'(i)$ 。

(4) 根据如下规则进行水印提取:

$$w_k'(i) = z_k'(i), k=1,2,\dots,Len; i=1,2,\dots,h \quad (10)$$

对每个音频信号提取 h 比特信息, 根据统计特性的该段的 w_k' , 规则表述如下:

$$w_k = \begin{cases} 1, & \sum_{i=1}^h w_k'(i) > \frac{h}{2} \\ 0, & \sum_{i=1}^h w_k'(i) \leq \frac{h}{2} \end{cases} \quad (11)$$

式中, $1 \leq k \leq Len$, Len 个 w_k' 充足时为水印信息 w' 。

(5) 对 w' 进行逆置乱处理得到水印信息, 并在升维后得到提取出的水印图像。

3.6 水印客观评价标准

音频水印的不可见性除主观的人耳听觉评价外, 峰值信噪比 PSNR 是客观评价水印透明性的重要指标。假设原始音频信号 B 有 N 个采样点, 嵌入过水印的音频文件为 A , 峰值信噪比 PSNR 的计算公式见式(12)。

$$SNR(B,A) = 10 \lg \left(\frac{\sum_{n=1}^N B^2(N)}{\sum_{n=1}^N [B(N) - A(N)]^2} \right) \quad (12)$$

为了衡量提取出的水印和原始水印的相似程度, 本文采用归一化相似度计算公式来客观评判水印算法的性能, 两水印图像的归一化相似度计算公式见式(13)。

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w(i,j)' \times w(i,j)}{\sum_i \sum_j w(i,j)^2} \quad (13)$$

式中, $w(i,j)'$ 是提取出的水印信息, $w(i,j)$ 是原始水印的信息。水印存在与否的判定标准为: 若 $NC > \tau$, 可以判定水印存在, 否则水印不存在。 τ 的选择决定了虚警概率和漏警概率, τ 的选择需要大量实验的统计信息决定, 实验中相似度门限 $\tau = 0.5$ 。

4 仿真实验结论与分析

为了验证本文算法的可行性, 现进行算法性能及其抗攻击能力测试。实验中, 所采用的载体为 MP3 音乐(解码后为采样频率 44.1kHz、16 位量化的长为 10s 的 wav 格式文件), 水印为 64×64 大小的二值图像。

根据对音频信号同步结构的影响一般把攻击分为两大类:

(1) 不影响音频信号同步结构的攻击: MP3 压缩, 低通/带通滤波、加回声、重采样以及重量化等。

(2)对音频信号造成同步结构影响的攻击:如抖动攻击、变调(pitch-shift warping)、时间尺度变形(Time Scale Modification, TSM)攻击等。

如下的同步码攻击测试和水印提取测试都分别对两大类不同攻击进行仿真实验,并通过音频信号的峰值信噪比 PSNR 和提取水印图像的误码率 BER 来客观评价水印的提取效果。

4.1 同步码测试

为了验证同步码提取的正确性,现绘制出几种攻击下音频信号的 MDCT 频谱熵曲线,如图 4 所示。

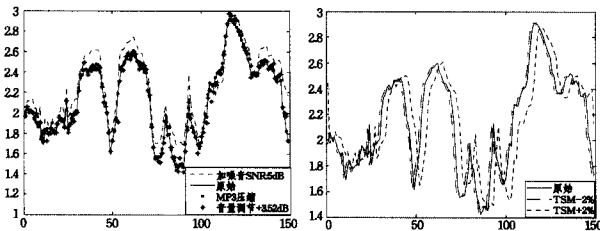


图 4 几种攻击前后的 MDCT 频谱熵曲线图

通过上图可以看出,攻击前后的 MDCT 频谱熵曲线与原始音频信号的 MDCT 系数频谱熵保持高度的一致性。算法分别选取了 5 组 32 位的同步码,在 MP3 压缩、音量调节(+3.52dB)、加噪声(SNR: 5dB)、加回声(100ms, 50%)、带通(200~600Hz)及等几种常见音频攻击下均能正确识别,进而正确定位水印嵌入开始位置并提取出水印信息。本文算法中选取的同步码在 TSM 攻击($\pm 2\%$, 保持音调)下全部提取正确,因此对去同步攻击存在一定的鲁棒性。

4.2 水印嵌入测试

原始载体文件的波形图如图 5(a)所示,嵌入水印后的波形图如图 5(b)所示。从原始载体波形图和嵌入水印后波形图的波形可以看出嵌入水印后对原始音频文件的影响较小,人耳对音频文件的听觉效果变化不大,这满足了水印的不可感知性。

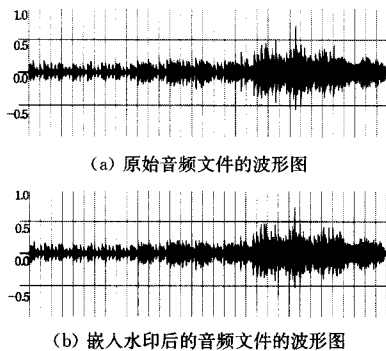


图 5 嵌入水印前后的 MP3 波形图

原始音频信号嵌入水印图像如图 6(a)所示,在没有攻击的情况下进行水印的提取($NC=1$),水印提取完全准确恢复,误码率为 0。提取效果如图 6(b)所示。

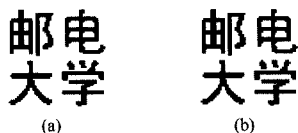


图 6 原始水印与提取水印

4.3 水印攻击测试

由于本文算法是将 MP3 码流解压后在 PCM 数据域嵌

入水印并重新压缩为 MP3 文件,为了保证鲁棒性,算法必须能够有效抵抗 MP3 压缩攻击。表 1 给出了不同 MP3 压缩攻击下的实验结果。

表 1 算法对不同 MP3 压缩攻击的抵抗能力

ATTACKS	PSNR	BER
—	38.7602	0
MP3-256k	38.7670	0
MP3-128k	39.0153	0
MP3-112k	39.1215	0
MP3-64k	36.9270	0
MP3-56k	36.0327	0

将添加过水印的 MP3 文件解压到 PCM 原始格式,并通过 Stirmark 软件的几类第一类不影响音频信号同步结构的攻击,如加噪攻击、重采样攻击、信号增强攻击及低通滤波攻击等将经过攻击的数据重新编码为 MP3 文件,然后提取水印。通过水印图像误码率 BER 和音频文件的峰值信噪比 PSNR 作为客观评价参数来比对攻击前后提取出的水印效果。第一类攻击后的仿真实验结果如表 2 所列。

表 2 算法对第一类攻击的抵抗能力

ATTACKS	PSNR	BER
requantization	37.7600	0
addsinus	37.9925	0
lowpass	38.2238	0
addnoise	24.2263	0
resample(22050Hz)	37.7696	0
resample(11250Hz)	36.6247	0.0804
resample(8000Hz)	28.7310	0.1448

表 3 所示即为在相同的实验条件下,本文算法以及文献[14]算法在第二类音频攻击,即影响音频信号同步结构的几类攻击下提取出水印的误码率的比对结果。

表 3 去同步攻击下本文算法与文献[14]算法比较

去同步攻击	文献[14]误码率	本文算法误码率
抖动攻击(1/10000)	0.0007	0
抖动攻击(1/50000)	0.0234	0.0100
升调 1 度	0.4792	0.4519
降调 1 度	0.4631	0.4479
TSM(-1%)	0.4543	0.2270
TSM(-2%)	0.4497	0.2957
TSM(-3%)	0.4597	0.3321
TSM(-4%)	0.4348	0.3991

4.4 实验结论

本文压缩域算法对 MP3 压缩攻击具有较高的鲁棒性,能有效地抵抗常见的攻击,如信号增强、低通滤波攻击,并且对同步攻击具有较高的鲁棒性等。通过引入 MDCT 频谱熵为隐含同步信号来抵抗去同步攻击。由实验结果可知,该隐含同步码可以在嵌入水印的音频信号遭受攻击后仍能正确提取出水印信息。在经受攻击后音频内容满足良好的听觉透明性,并且能够较高效地提取出水印。

结束语 本文提出的算法以 MDCT 频谱熵序列作为隐含同步码来实现基于音频内容的自同步,并在 MP3 解码后的非压缩域进行水印嵌入,而后重新压缩为含水印的 MP3 文件。嵌入过程中结合心理声学模型的掩蔽效应,采用自适应选取量化步长的量化机制处理低频 DWT 系数,提高了水印的不可感知性和鲁棒性。算法有以下特点:

(1) 隐含同步码在攻击下仍能正确有效地提取,因此能

够准确定位水印嵌入的起始位置进而提取水印信息。

(2) 本文压缩域水印算法对 MP3 压缩攻击具有较高的鲁棒性。

(3) 算法能在保证听觉效果的同时抵抗多种常见的音频攻击,具有较高的鲁棒性。

(4) 算法对同步攻击具有一定的鲁棒性。

另外,该 MP3 水印算法应更好地利用音频信号的重要特征并结合 HAS 来提高抵抗去同步攻击的能力,这将在以后做进一步的深入研究。

参考文献

- [1] Cox I, Killian J, Leighton T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE Trans. Image Process, 1997, 6(12): 1673-1687
- [2] 李伟,袁一群,李晓强,等. 数字音频水印技术综述[J]. 通信学报, 2005, 26(2): 100-111
- [3] 孙圣和,陆哲明,牛夏牧. 数字水印技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004
- [4] Bassia P, Pitas L, Nikolaidis N. Robust audio watermarking in the time domain [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2001, 3(2): 232-242
- [5] Cveji C, Keskinarkaus A, Seppanen T. Audio watermarking using m-sequences and temporal masking [A]// Proceedings of the 7th IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics[C]. New York, NY, 2001: 227-230
- [6] Lie W N, Chang L C. Robust and high-quality time-domain audio watermarking subject to psychoacoustic masking [J]. IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2001, 2: 45-48

- [7] 王向阳,杨红颖,赵红,等. 自适应小波域数字音频水印嵌入算法研究[J]. 小型微型计算机系统, 2006, 27(7): 1353-1357
- [8] Wang C T, Chen T S, Chao W H. A new audio watermarking based on modified discrete cosine transform of MPEG/Audio layer 0M[C]// Proceedings of the 2004 IEEE International Conference on Networking, Sensing & Control. Taipei, 2004: 984
- [9] Koukopoulos D, Stamatou Y. A watermarking scheme for MP3 audio files [J/OL]. Int J Signal Process, 2006, 2/3: 206. <http://www.waset.org/ijsp/v2/v223230.pdf>, 2006205201
- [10] 刘亚多,李伟,李晓强,等. 压缩域鲁棒音乐指纹算法研究[J]. 电子学报, 2010, 38(5): 1172-1176
- [11] Chang T Y. Research and implementation of MP3 encoding algorithm [D]. Taiwan: National Chiao Tung University, 2002
- [12] Cox I J, Miller M L, Bloom J A. Digital Watermarking [M]. Morgan Kaufman Publishers, 2002
- [13] 吴绍权,黄继武,黄达人. 基于小波变换的自同步音频水印算法[J]. 计算机学报, 2004, 27(3): 366-370
- [14] 马天笑,王向阳,杨红颖. 一种基于均值量化的抗去同步攻击数字水印算法[J]. 计算机科学, 2009, 36(4): 257-259
- [15] Wang Xiang-yang, Zhao Hong. A novel synchronization invariant audio watermarking scheme based on DWT and DCT [J]. IEEE Trans Signal Processing, 2006, 54(12): 4835-4840
- [16] 高海英,钮心忻,杨义先. 基于量化的小波域自同步数字音频水印算法[J]. 北京邮电大学学报, 2005, 28(6): 103-105
- [17] 彭宏,王珣,王卫星,等. 基于音频特征的多小波域水印算法[J]. 计算机研究与发展, 2010, 47(2): 216-222
- [18] 鲍德旺,杨红颖,祁薇,等. 基于音频特征的抗去同步攻击数字水印算法[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(12): 2620-2622

(上接第 105 页)

高效地完成服务选择工作。

参考文献

- [1] Zeng L, Benatallah B, Ngu A H H, et al. QoS-aware middleware for Web services composition [J]. IEEE Trans Softw Eng, 2004, 30(5): 311-327
- [2] Ran S. A module for Web services discovery with QoS [J]. ACM SIGecom Exchanges, 2003, 4(1): 1-10
- [3] Liu Y, Ngu A, Zeng L. QoS computation and policing in dynamic Web service selection [C]// Proc. Of the WWW2004. New York: ACM Press, 2004: 66-73
- [4] Zeng L, Benatallah B, Dumas M, et al. Quality driven Web services composition [C]// Proc. of the 12th Int'l Conf. on WWW2003. 2003: 411-421
- [5] Tian M, Gramm A, Ritter H, et al. Efficient selection and monitoring of QoS-aware web services with the WS-QoS Framework [A]// IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WI'04) [C]. 2004
- [6] BPEL4WS. Business Process Execution Language for Web Services [EB/OL]. <http://www-128.ibm.com/developerworks/library/specification/ws-bpel/>, February 2005
- [7] <http://wiki.huihoo.com/index.php?title=Workflow>
- [8] Schuster H, Georgakopoulos D, Cichocki A, et al. Modeling and composing service-based and reference process-based multi-enterprise processes [A]// Proceeding of 12th International Conference on Advanced Information Systems Engineering (CaiSE) [C]. Stockholm, Sweden, Springer Verlag, June 2002

- [9] Soydan B A, Munindar S P. A DAML-based repository for QoS-aware semantic Web service selection [A]// Proceedings of the IEEE International Conference on Web Services (ICWS' 04) [C]. 2004
- [10] Zhou Chen, Chai Liang-tien, Lee B-S. DAML-QoS ontology for web services [A]// IEEE International Conference on Web Services (ICWS' 04) [C]. 2004
- [11] Zhang Liang-jie, Li Bing, Chao Tian, et al. QoS-aware middleware for web services-based business process composition [A]// IEEE [C]. 2003: 4057-4064
- [12] Canfora G, Penta M D, Esposito R, et al. A lightweight approach for QoS-aware service composition [A]// ICSOC [C]. 2004
- [13] Jaegar M C, Muhl G, Golze S. QoS-Aware Composition of Web Service: A Look at Selection Algorithms [A]// ICWS2005 [C]. Orlando, Florida USA, 2005
- [14] Benatallah B, Dumas M, Sheng Q Z, et al. Declarative composition and peer-to-peer provisioning of dynamic Web services [A]// Proc. of the 18th Int'l Conf. on Data Engineering. San Jose: IEEE Computer Society [C]. 2002: 297-308
- [15] 赵俊峰,谢冰,张路,等. 一种支持领域特性的 Web 服务组方法 [J]. 计算机学报, 2005, 28(4): 731-738
- [16] Kennedy J, Eberhart R C. Particle Swarm Optimization [A]// Proc. of the IEEE Conf. on Neural Networks [C]. Perth: IEEE Press, 1995: 1942-1948
- [17] 刘书雷,刘云翔,张帆,等. 一种服务聚合中的 QoS 全局最优服务动态选择算法 [J]. 软件学报, 2007, 18(3): 646-656
- [18] Han Jia-wei, Kamber M, et al. Data Mining Concepts and Techniques [M]. 北京: 机械工业出版社, 2001: 149-151