

基于数字细菌的 MP3 版权保护^{*}

张萍^{1,2} 黄均才¹ 杨帆¹ 李英各¹ 余堃¹ 周明天¹

(电子科技大学卫士信息安全联合实验室 成都 610054)¹

(四川师范大学计算机教学中心 成都 610068)²

摘要 基于信号分流、小波融合、独立成分分析(ICA)以及数字细菌等技术,提出一种保护 MP3 音乐产品的知识产权的新方法。首先将声音信号分流,构造两道音乐声音,对其进行 L 级离散小波分解,将 MP3 疫苗 W 同时嵌入到两道声音的小波系数中,然后进行 L 级小波重构,再通过声音信号合成获得含有 MP3 疫苗的 MP3 音乐。提取 MP3 疫苗时,从两道声音的小波系数中取得 MP3 疫苗 W1 和 W2,利用独立成分分析,通过无监督神经网络,获得无噪音的 MP3 疫苗。为保证 MP3 疫苗的安全,在 MP3 音乐数据中嵌入 MP3 疫苗后,MP3 疫苗作为隐藏的独立成分信号起着免受数字细菌攻击的作用。数字细菌平时处于休眠状态,用于保护 MP3 疫苗数据。如果 MP3 疫苗遭到破坏,则数字细菌被激活以攻击盗版数据。测试结果表明该技术具有良好的性能,可用于 MP3 音乐的版权保护。

关键词 数字细菌,MP3 疫苗,数字水印,版权保护

Copyright Protection of MP3 Music Based on Digital Bacteria

ZHANG Ping^{1,2} HUANG Jun-Cai¹ YANG Fan¹ LI Ying-Ge¹ SHE Kun¹ ZHOU Ming-Tian¹

(Information Security United Lab. of UESTC-Westone, Chengdu 610054)¹

(Computer Education Center, Sichuan Normal University, Chengdu 610068)²

Abstract A novel technique for authenticity protection of MP3 music based on the methods of signal shunt, wavelet fusion, independent component analysis (ICA) and digital bacteria is presented. Shunting sound signal firstly to construct two music sounds, and then compute the Lth-level discrete wavelet decomposition of the two music sounds. Embedding MP3 vaccine fuse some data (watermark) W to each of the two sounds' wavelet coefficients then synthesizing the two sounds to obtain the MP3 vaccine music sounds. When extracting MP3 vaccine, distill two MP3 vaccine data W1, W2 from the two wavelet coefficients, then use unsupervised ANN to denoise and get data (watermark) W'. For MP3 vaccine security, a covert independent component MP3 vaccine signal can serve as a "vaccination" against dormant digital bacteria protecting the multimedia data. Unauthorized removal of the MP3 vaccine triggers the bacterium, which then responds appropriately against the pirated data. Test results show superior performance of the technique and potential for the MP3 vaccine of MP3 music.

Keywords Digital watermark, Signal shunt, Independent component analysis, Digital bacteria, MP3 vaccine

1 引言

目前国际上已提出了一种双目无监督机制,已运用于数字水印^[1]、医学^[2]、雷达^[3]、卫星遥感^[4]等,该技术利用数理统计原理,将成对的检测信号通过无监督学习的神经网络去除噪声(或特定信号),从而还原原始信号。

Internet 上 MP3 音乐的随意下载和传播,威胁着有关 MP3 音乐公司的生存和拥有版权的作者的创作积极性,MP3 的版权迫切需要得到保护。为了防止 MP3 音乐被非法复制及传播,人们将版权信息隐藏到 MP3 音乐中,主要方法包括最低位(LSB)^[5]方法、回声编码方法^[6]、离散余弦变换(DCT)^[7]方法、离散小波变换(DWT)方法等。以上方法只是被动地对 MP3 音乐实施版权保护,如果攻击者将水印从宿主数据中去除,则其版权保护作用失效。本文基于数字细菌和 MP3 疫苗等技术,将主动保护与被动保护结合起来,提出一种新的版权保护技术,并设计实现了对 MP3 音乐的版权保护。

2 背景知识

2.1 信号分流

对信号序列 $x(t) = \{x(0), x(1), \dots, x(n), \dots, x(N-1)\}$ 进行离散傅立叶变换(DFT),我们可以获得另一个序列 $x(u) = \{x(0), x(1), \dots, x(N-1)\}$,

$$x(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j \frac{2\pi mn}{N}} \quad m=0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

对 $X(u)$ 实行离散傅立叶逆变换(IDFT), $X(u)$ 就可以被恢复为 $X(t)$,

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x(m) e^{-j \frac{2\pi mn}{N}} \quad (2)$$

现在我们令另外两个序列取值为 $X_1(u) = \{X_1(0), X_1(1), \dots, X_1(N-1)\} = \{X(0), X(1), \dots, X(N/2-1), 0, \dots, 0\}$, $X_2(u) = \{X_2(0), X_2(1), \dots, X_2(n), \dots, X_2(N-1)\} = \{0, 0, \dots, X(N/2), \dots, X(N-1)\}$ 。故我们可对 $X_1(u), X_2(u)$ 实行离散傅立叶逆变换(IDFT),从而获得另外两个信号序列

$$x_1^*(u) = \{x_1^*(0), x_1^*(1), \dots, x_1^*(N-1)\},$$

^{*} 本文由项目 G020106011A010202 资助。张萍 硕士研究生,主要从事信息安全、生物信息学的研究工作。黄均才 硕士研究生,主要从事网络计算、信息安全、生物信息学的研究工作。余堃 博士生,副教授,主要从事信息安全、中间件计算、电子商务、电子政务的研究工作。周明天 教授,博士生导师,主要从事计算机网络、信息安全、并行分布处理等的研究工作。

$$x_2^*(u) = \{x_2^*(0), x_2^*(1), x_2^*(n), \dots, x_2^*(N-1)\}$$

$$\text{即 } x_1^*(n) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x(m) e^{-j \frac{2\pi mn}{N}} \quad (3)$$

$$x_2^*(n) = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} x(m) e^{-j \frac{2\pi mn}{N}} \quad (4)$$

实际计算时我们使用快速傅立叶变换(FFT)和快速傅立叶逆变换(IFFT)去代替 DFT 和 IDFT, FFT 和 IFFT 减少了计算量,从 $O(N^2)$ 减少到了 $O(N \log_2 N)$ 。

2.2 利用 ICA 去噪

独立成分分析法(Independent Component Analyses, ICA)本来是一种用于特征提取的方法,目前主要用于处理脑电图、分析财务资料的内在特性、降低影像的噪音及电讯通信等方面。文[5]将无监督神经网络(ANN)运用于 ICA,实现图像去噪,取得了非常好的效果。同样我们也可以将该方法运用于声音去噪。我们只考虑有两个源信号和两个探测器的情况。根据高斯的中心极限理论,虽然声音信号随时在变,但噪音是一样的。噪音波动不规则,没有一致的响应,时间的高阶统计平均值必定为零。给定一个合理的强度,如果没有多少环境反射,则我们可以将问题 a 假设为线性瞬时模型,

$$X''(t) = s_1^*(t)m_1 + s_2^*(t)m_2 = \sum m_s s_s^*(t) \equiv [M]S^*(t) \quad (5)$$

其中 $[M]$ 是混合矩阵, m_s 是混合向量, s_s 是独立成分, x_s 是检测到的数据。

在进行 ICA 时,必须先进行预处理(preprocessing),包括中间化(centering)及正规化(whiting)。中间化也就是零平均,正规化也就是变异数等于 1。

设数据为 $x''(t)$, 则中间化可描述如下:

输入: $x''(t)$, 其中 $t=1, 2, \dots, m$

操作: $\bar{X} = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m x''(t), x'(t) = x''(t) - \bar{X}$

输出: $x'(t)$, 其中 $t=1, 2, \dots, m$ 。

而正规化可表述为:

输入: $x'(t)$, 其中 $t=1, 2, \dots, m$

操作: $X' = \sqrt{\sum_{t=1}^m (x'(t))^2}$,

$$x(t) = \frac{1}{x'} \cdot x'(t)$$

输出: $x(t)$, 其中 $t=1, 2, \dots, m$ 。

经过预处理后,式(5)可变为

$$x(t) = s(t)m_1 + s_2(t)m_2 = \sum m_s s_s(t) \equiv [M]S(t) \quad (6)$$

其中 $(x_1(t), x_2(t))^T = X(t)$ 为检测信号预处理后的结果值,源信号亮度 $(s_1(t), s_2(t))^T = S(t)$ 和混合矩阵 $[m_1, m_2] = [M]$ 均未知。

因为源信号强度的波动是独立的,故有 $E(s_1(t)s_2(t)) \approx 0$ 及 $E(s_1(t)s_1(t)) = 1$, 即

$$E(S(t)S^T(t)) \approx [I] \quad (7)$$

这样,未知信号的提取可以由输出高斯噪声 $V = (v_1, v_2)^T$ 的 ANN 来完成,该高斯噪声又称为“垃圾”,并且满足 $E(v_1(t)v_2(t))G = 0, E(v_1(t)v_1(t))G = 1$, 即

$$E(V(t)V(t)^T)G = [I] \quad (8)$$

$E(x(t))$ 表示为 $x(t)$ 的统计平均, ANN 调整学习权重矩阵 $[W] = (w_1, w_2)$ 以最大化输出熵 $H(V)$ 。通过计算权重矩阵 $[W]$ 的梯度:

$$\frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial H(Y)}{\partial w} \quad (9),$$

就会成功实现源信号的盲分离。熵 $H(V)$ 的计算公式如下:

$$H(Y) = - \sum_p P(Y=a_i) \text{Log} P(Y=a_i) \quad (10)$$

如此一来,可得到熵最大的噪声为

$$V(t) = \tanh([W]X(t)) \approx [W]X(t), \quad (11)$$

于是由噪声输出式(6)可得

$$[W][M]E(S(t)S^T(t)) [M]^T [W]^T \approx [I] \quad (12)$$

由定义式(5)有

$$[W] \approx [M]^{-1} \quad (13)$$

我们知道特定的声音其值具有特定的分布图,并且灰度值的分布明显偏离 Gaussian 随机变量的分布,其偏离可用高阶统计(HOS)来度量。对大多数声音而言,既然其值服从拉普拉斯分布,则其变异值小于高斯分布(正态分布)的变异值。运用称为峰度的四阶累积量 $K(u)$, ANN 寻找统计矩阵的逆。而峰度 $K(u)$ 的计算公式如下:

$$k(y) = E\{y^4\} - 3(E\{y^2\})^2 \quad (14)$$

既然每段声音 ($K < 0$) 都具有唯一的峰度值,即使事前不知道期望的输出为何物也可通过寻找固定的峰度值来得到特定的声音。

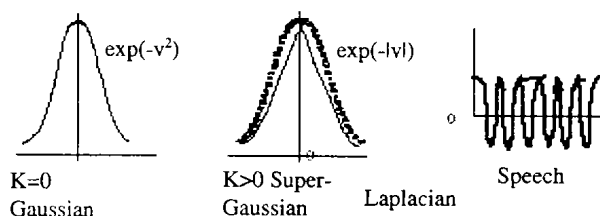


图 1 声音值偏离高斯分布

对于两个源信号和两个探测器的情形,测得的数据可表述成式(15)。

$$\begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & \cos\theta_2 \\ \sin\theta_1 & \sin\theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \end{bmatrix} \quad (15)$$

学习权重 ξ 的格式可重新写成式(11)。

$$\begin{aligned} u_\xi(t) &= (w_1 \ w_2) [M] S(t) \\ &= [\cos\xi \ \sin\xi] \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & \cos\theta_2 \\ \sin\theta_1 & \sin\theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \end{bmatrix} \\ &= [\cos(\xi-\theta_1) \ \cos(\xi-\theta_2)] \begin{bmatrix} s_1(t) \\ s_2(t) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (16)$$

未知 θ_s (无监督情形), 如果找到退化角(killing angles) $\xi = \xi_1 = \theta_1 + \pi/2$ 和 $\xi = \xi_2 = \theta_2 - \pi/2$, 则式 11 给出 $\cos(\pi/2) = 0, \cos(-\pi/2) = 0$ 和 $u_{\xi_1}(t) = \sin(\theta_2 - \theta_1)s_2(t), u_{\xi_2}(t) = \sin(\theta_2 - \theta_1)s_1(t)$ 。这时峰度取得极值

$$K(u_{\xi_1}(t)) \approx \sin(\theta_2 - \theta_1)^4 K(s_2(t))$$

$$K(u_{\xi_2}(t)) \approx \sin(\theta_2 - \theta_1)^4 K(s_1(t))$$

3 制作 MP3 疫苗

众所周知,人体注射了某种细菌或病毒的疫苗并产生抗体后,人体被此种细菌或病毒感染就不易生病,而当人体不具有某种细菌或病毒的抗体时,人体就没有对此细菌或病毒的免疫力,容易感染此细菌或病毒而生病。前段时间的 SARS 病毒就因为缺少相应的疫苗而使很多人感染此病毒而患病。数字细菌的原理就像生物细菌或病毒的原理一样。我们在 MP3 音乐中嵌入数字细菌的疫苗(不同于医学意义上的疫苗,这里的疫苗只起防止数字细菌攻击的作用,不产生抗体),在随着音乐下载的插件中嵌入数字细菌,让数字细菌自动判别用户的合法性。如果 MP3 音乐具有数字细菌的疫苗,说明这台计

计算机用户是合法的用户,那么这台计算机就具有免疫性——能够正常播放 MP3 音乐。如果 MP3 音乐不具有疫苗,那么说明这台计算机是非法复制或传播的用户,就不具有免疫性——不能正常播放音乐。另外,还可以在 MP3 音乐中嵌入版权水印作为第二重保护——在事后可以作为非法用户非法性的证据。

为了不让一般用户知道 MP3 音乐中存在 MP3 疫苗,因此使用目前信息隐藏技术中最有效的方法——不可见的数字水印来制作 MP3 疫苗。为了加强版权保护,采用双水印来保证版权的有效保护。其中一个水印为合法性水印——用来判别用户的合法性;另一个水印为版权水印——用来作为非法用户的非法性的证据。合法性水印可由两种方式制作而成。复杂一些的合法性水印可由一些代码构成。简单一些的合法性水印可只包括一个加密后经过冗余的序列码。这样易于提取水印,同时也使水印对 MP3 音乐的影响不是很大。不同的 MP3 音乐使用不同的序列码。版权水印由版权所有者的信息构成。如某某音乐公司对 MP3 音乐文件的理想水印技术的属性描述如下:一是与流行的 MP3 音乐格式的兼容性。二是水印嵌入不应造成可察觉的数据变化。三是抵抗水印被用户移去。四是从添加了水印的计算机编码中将音乐的完全恢复。MP3 音乐加水印的过程如图 2 所示。首先将 MP3 音乐的声音信号分流,构造两道音乐声音,对其进行 L 级离散小波分解,将 MP3 疫苗 W 同时嵌入到两道声音的小波系数中,然后进行 L 级小波重构,再通过声音信号合成获得含有 MP3 疫苗的 MP3 音乐。

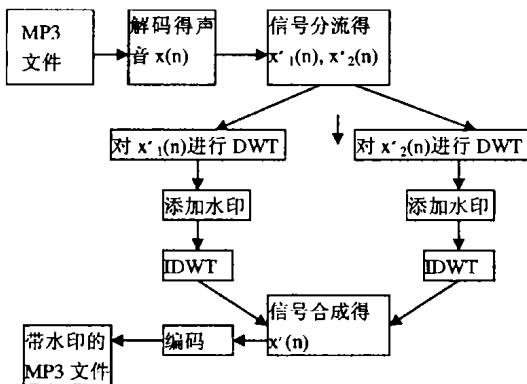


图 2 MP3 音乐加水印过程

为了加强版权保护的可行性,可以采用相关的加密技术。

MP3 疫苗与 MP3 音乐的合成:我们采用小波自适应变换方法^[4]——将秘密信息引入到小波域系数中,自适应于 MP3 音乐内容的数字水印方案。小波采用离散一维小波。由于小波的选择灵活,凡能满足条件的函数均可作为小波函数,代表性的小波有:(1)HAAR 小波,(2)MEXICOHAT 小波(3)MORLET 小波。我们选用由 HAAR 于 1910 年提出的 HAAR 小波来构造小波基。嵌入水印时对语音信号序列按下式进行 HARR 小波分解:

$$c_{j+1,k} = \sum_m h_0(m-2k)c_{j,m}$$

$$d_{j+1,k} = \sum_m h_1(m-2k)c_{j,m}$$

其中, $h_1=0.7071, 0.7071, h_0=-0.7071, 0.7071$ 。在提取时数据按如下公式进行:

$$c_{j-1,m} = \sum_k c_{j,k}h_0(m-2k) + \sum_k d_{j,k}h_1(m-2k) \quad (17)$$

其中, $h_1=0.7071, 0.7071, h_0=-0.7071, 0.7071$ 。小波自适应变换方法由于对噪声干扰及常见的图像处理技术具有良好的鲁棒性和高的提取率,所以被用来制作 MP3 疫苗与 MP3 音乐的合成。在秘密数据被嵌入之前可以进行差错控制编码以提高秘密信息的正确提取率。

4 数字细菌的工作描述

我们将数字细菌集成在插件中,所以数字细菌的制作主要为插件的制作。若用户注册为合法用户,用户可以获得合法的插件后安装。安装后自动获取一个序列码。插件的作用是判断 MP3 音乐中是否有合法性水印——MP3 疫苗。若有 MP3 疫苗,则允许音乐无损的播放。若无 MP3 疫苗,则插件会自动破坏音乐的每个字节的最低四位,使音乐无法正常播放。而且若没有此插件,嵌有计算机疫苗的 MP3 音乐也无法正常播放。插件的流程如图 3 所示。

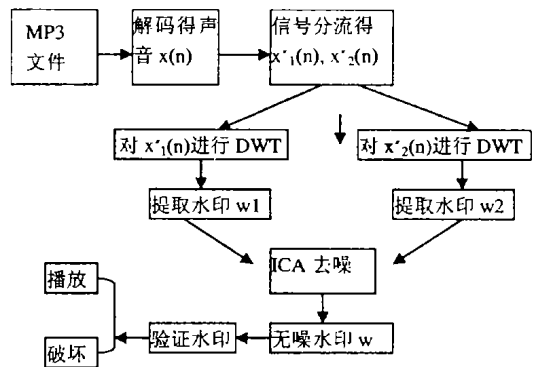


图 3 MP3 音乐插件流程

其工作过程描述如下:将带水印的 MP3 音乐文件由解码器解码,经小波变换后提取水印,提取 MP3 疫苗时,从两道声音的小波系数中取得 MP3 疫苗 W1 和 W2,利用独立成分分析,通过无监督神经网络,获得无噪音的 MP3 疫苗,再验证水印,然后由验证结果来决定是播放还是破坏音乐。解码器完成分开编码,存储序列码,验证序列码,破坏 MP3 编码的功能。插件中包含用户付费的歌曲的序列码。这样未付费的用户由于插件上没有序列码,用户就会听到被破坏的音乐。如果想盗版的用户除了要有带水印的 MP3 文件外,还应该拥有带有 MP3 的序列码的插件,由于插件只能安装后使用,不能随意的复制,这样用户每次安装的插件就是一个全新的没有序列码的插件,就能够起到保护 MP3 音乐版权的作用。

当用户打开一个 MP3 音乐文件(实际上是 MP3 与水印的混合物)时,将自动激活插件,插件使用 ICA 的盲分离,把线性叠加的 MP3 编码和水印分开,分别存储到插件类的 2 个域 MP3 和 WATERMARK 中,然后调用 CONFIRM(), CONFIRM() 在插件类的另一个域:即一个 STATIC[]LICENSE 数组中查找有没有匹配的 LICENSE 号,如果有,则调用插件类的 DELETE 函数,将这个 LICENSE 对象的 TIME 域减去 1,如果没有,则调用 DESTROY(),把 MP3 的编码文件破坏掉。当一个用户在网上付费时,会收到一个 LICENSE 的包,当插件收到这个包时,马上创建一个 LICENSE 对象,把该包内的序列码存入该对象的 LICENSE-NUMBER 域,然后把最后 3 位提取出来,给 TIME 域赋值。如:后 3 位是 030,则在 TIME 域赋值 30,表示 30 次等。如果没有时间限制,TIME 域为无穷大,然后插件把这个 LICENSE 对象加入它的 LICENSE 数组中。为了加强保护,避

(下转第 90 页)

检测过程中,引入模糊匹配及模糊推理,可以进一步降低误报率和漏报率,特别是对原来攻击的变形所形成的新攻击,本文初步实验也证明了这点。通过在局域网对 Denial of Service、Portscan、Unauthorized Service 等攻击行为的预演与检测,得到图 5、图 6 所示结果。

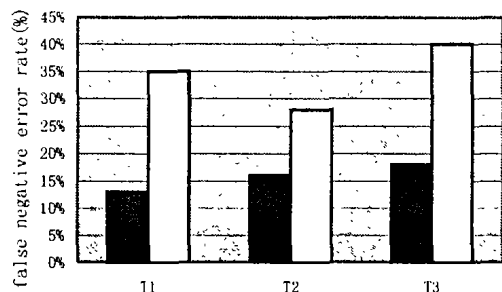


图 6 漏报率的比较

图中 T1、T2、T3 分别代表上述 3 种类型的行为;深颜色是未考虑模糊的情况,即推理过程中采用精确匹配及精确推理;浅颜色为本文提出方法的实验结论。需要说明的是,实验结果与所建立特征库、采用的攻击手段有极大关系,本图是

对若干种手段测试的平均值。

基于特征分析的 IDS 是目前商用 IDS 中使用最多的一种方法,提高它检测的准确率具有很深的现实意义,如何全面地获取特征信息是所有基于特征分析的 IDS 的难点之一,是影响 IDS 性能主要原因。另外,为了解决 IDS 的跨平台、跨语言问题,特征的表述是关键。这些问题是需一步研究的问题,也是本设计推向应用前所必须解决的问题。

参考文献

- 1 张琨,徐永红,王珩,刘凤玉. 基于免疫学的入侵检测系统模型. 南京理工大学学报, 2002, 26(4): 337~340
- 2 Bridges S M, Vaughn R B. FUZZY DATA MINING AND GENETIC ALGORITHMS APPLIED TO INTRUSION DETECTION. <http://www.cs.msstate.edu/~bridges/papers/nissc2000.pdf>
- 3 Dickerson J E, Dickerson J A. Dickerson. 2000. Fuzzy network profiling for intrusion detection [J]. In: Proc. of NAIFIPS 2000. 301~306
- 4 Luo Jianxiong, Bridges S M, Vaughn R B. Jr. Fuzzy Frequent Episodes for Real-Time. <http://www.cs.msstate.edu/~bridges/papers/fuzzieee-2001.pdf>
- 5 何新贵. 模糊知识处理的理论与技术[M]. 国防工业出版社, 1999. 63~65

(上接第 79 页)

免有经验的最终用户发现 LICENSE 号的存在而复制、传播,将之放在用户的硬盘上,而不以文件形式存储在 MP3 播放器的文件夹中。每次用户听歌时必须经历一次验证过程,而每次验证过程必须在 LICENSE 数组中查找,随着用户付费的歌曲增多, LICENSE 数组会越来越大,因此给 LICENSE 数组设置一个上限,比如:200。然后在 LICENSE 类中加一个 TIME 域,当 TIME 为 0 时在数组中删除这个对象。这样可以有效减少查询的时间,使插件的运行速度比较快,让合法用户感觉不到 MP3 疫苗免疫数字细菌的过程。同时由于用户换机必须重新注册安装插件,可以减少用户的意外损失。类图如图 4 所示。

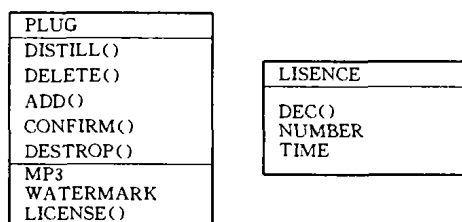


图 4 MP3 音乐插件类图

为了增强版权保护的可行性,可以对插件加密,达到反拷贝、防静态分析、反动态跟踪的基本要求。也可以将插件制作成不可拆卸的硬件——由可编程器件 DSP 来实现。

5 测试结果

小波域水印仿真实验结果如下:

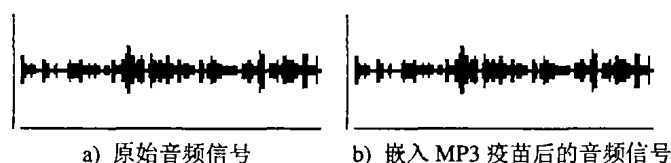


图 5 测试 S 结果

由上图我们可以看出仿真实验的结果:原始音频信号(如

图 a 所示)与嵌入 MP3 疫苗后的音频信号(如图 b 所示)之间的失真很小,能够很好地保护 MP3 的版权。

结论 将 MP3 疫苗合成在 MP3 音乐中,隐藏在计算机的插件中的数字细菌自动判别用户的 MP3 音乐是否是盗版。若是盗版,MP3 音乐中就无 MP3 疫苗,那么音乐就无法正常播放。即使用户是复制的带 MP3 疫苗的 MP3 音乐,那么插件是无法全部复制的,不全的插件也无法播放带 MP3 疫苗的 MP3 音乐,从而达到主动保护版权的目的。MP3 疫苗和插件的双重使用即使失效,MP3 疫苗中还有版权水印可以事后追踪消费者的盗版责任。不过插件的至少几秒钟的运行以及安装插件需要花一定的时间也会使消费者感到不快,但是在这方面的负面影响是很小的。

进一步的研究将包括数字细菌在其它方面的应用。MP3 疫苗可扩展为计算机疫苗用作其它用途,当然还可以产生各种各样的疫苗应用到其它方面。

参考文献

- 1 Noel S, Szu H. Multimedia authenticity with ICA watermarks. Wavelet Applications VII, SPIE Proc., Vol. 4056, April 2000. 175~184
- 2 Yim B, Noel S, Szu H. Detecting Electrocardiogram Abnormalities with Independent Component Analysis. In: 15th Annual Intl. Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation, and Controls, Orlando, Florida, April 2001
- 3 Noel S, Szu H. Doppler Frequency Estimation with Wavelets and Neural Networks. presented at 12th Annual International Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation, and Controls, Orlando, Florida, April 1998
- 4 Szu H, Hsu C. Landsat spectral Unmixing à la superresolution of blind matrix inversion by constraint MaxEnt neural nets. In: Proc. SPIE 3078, 1997. 147~160
- 5 Bassia P, Pitas I. Robust audio watermarking in the time domain. In: Proc. EUSIPCO 98, vol. 1, Rodos, Greece, Sept. 1998. 25~28
- 6 Gruhl D, Lu A, Bender W. Echo hiding. in Information Hiding, Springer Lecture Notes in Computer Science, 1996, 1174: 295~315
- 7 Neubauer C, Herre J. Digital watermarking and its influence on audio quality In: Proc. 105th Convention, Audio Engineering Society, San Francisco, CA, Sept. 1998
- 8 Szu H. Progress in Unsupervised Artificial Neural Networks for Image Demixing Applications. IEEE Industrial Electronics Society Newsletter, 46127, June 1999