

数字音频水印算法的计算机仿真研究

李春蔚, 何华平

(四川理工学院计算机学院, 四川 自贡 643000)

摘要: 文章对基于时域位置上的 PCM 编码算法、基于频域位置上的掩蔽效应和复倒谱的数字音频水印两种典型的数字音频算法进行了研究和分析, 并使用 Matlab 语言对这些算法进行了计算机仿真实验, 给出了相应的仿真结果和应用建议。

关键词: 数字音频; 加密算法; 仿真技术; 软件应用

中图分类号: TP311

文献标识码: A

引言

数字水印技术 (digital watermarking) 自 93 年被提出以来^[1], 早期主要应用于数字图像领域, 此后, 数字水印的概念扩展到视频和声音等领域, 成为了以保护多媒体版权信息为目的的一门新兴技术。数字水印技术是一种信息隐藏技术, 它的基本思想是在数字图像、音频和视频等数字产品中嵌入秘密信息, 以便保护数字产品的版权、证明产品的真实可靠性、跟踪盗版行为或者提供产品的附加信息。其中秘密信息称之为数字水印 (digital watermarking), 可以是版权标志、用户序列号或者是产品的相关信息。与传统水印不同, 数字水印隐藏在数字化产品中, 不易被人的感觉系统感知, 只有通过特殊的数据处理才可识别。

与图像水印相比, 数字音频水印技术的难度更大, 这是由于人类的听觉系统较之视觉系统更为灵敏。首先, 人类听觉系统的动态范围大 (大于 150 dB); 其次, 人类对加性噪声相当敏感, 这使得时域加性嵌入算法难于在稳健性与不可听性之间合理折衷; 另外, 人类听觉系统能感知低于环境 80 dB 的扰动。虽然如此, 仍可以利用人类听觉系统在视频域的掩蔽特性, 在音频信号中嵌入水印。

一般来说, 数字音频水印应具有以下基本特性^[2]:

不可感知性、鲁棒性 (Robust) 或者称为稳健性、安全性、确定性和自恢复性。

音频水印系统的基本模型: 水印模型是水印算法的基础, 音频水印中常用的算法模型与图像水印类似。图 1 模型是针对图像水印提出的, 但是同样适用于音频水印。其中水印编码环节负责隐秘信息加密, 纠错编码; 心理声学模型提供掩蔽阈值信息来确定水印的最大可能嵌入强度; 水印提取环节与水印嵌入环节相对应; 水印检测环节负责判断水印的存在性, 但是不提供水印的内容; 水印解码环节负责提取隐秘信息。这个模型是一个基本模型, 具体水印算法可能只包含其中的几个环节。

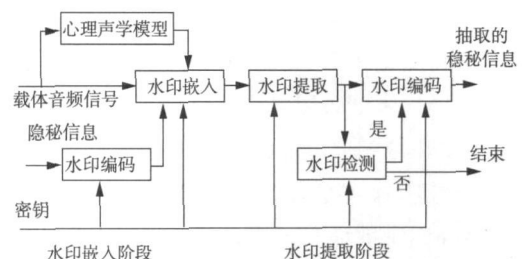


图 1 音频水印基本模型

目前常见的数字音频水印法有: 最低有效位法、相位编码法、扩展频谱法、回声隐藏法和变换域法等。这些音频水印方法大致可以归纳为两大类: 时域方法和变

换域方法。前者是指通过修改宿主信号的时域采样值嵌入水印的方法,典型的时域方法有最低有效位 (LSB) 法^[3]和回声隐藏法^[4]等;后者是通过修改宿主信号的变换域系数来嵌入水印信息的方法^[5]。一个好的音频水印方法应该能够在保证不可听性的前提下尽量获得较强的鲁棒性。

1 基于 PCM 编码的数字音频水印算法

脉冲编码调制 (PCM) 通常包括三种编码: 均匀 PCM、非均匀 PCM 和自适应 PCM。

1.1 基本思想

PCM 编解码是用模数 (A/D) 和数模 (D/A) 转换技术实现的。编码电路中模数转换部分将电位器产生的模拟信息转换成一组数字脉冲信号。由于每个通道都由 8 个脉冲组成, 再加上同步脉冲和校核脉冲, 因此每个脉冲包含了数十个脉冲信号。这样每个通道的脉冲就可用 8 位二进制数据来表示, 共有 256 种变化。接收机解码电路中的单片机收到这种数字编码信号后, 再经过数模转换, 将数字信号还原成模拟信号。如图 2 所示为基于 PCM 的水印嵌入方案框图。

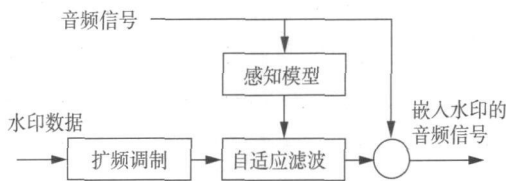


图 2 基于 PCM 的水印嵌入方案框图

1.2 具体算法

首先将要嵌入的水印信号进行扩频编码, 使扩频编码后的长度与载体声音的编码长度一样长, 扩频序列通过 m 序列来获得以加强水印的安全性; 其次通过感知模型求出原始声音的掩蔽阈值以确定原始声音信号的嵌入点; 再次将扩频后的水印序列和筛选出来的嵌入点序列同时进行 PCM 编码, 然后将编码后的水印序列与原始音频编码后的序列进行比较; 四是将水印序列嵌入到原始音频编码后的序列中, 并保持原始编码序列不变。

1.3 实验结果与分析

用 Matlab 语言来实现水印隐藏的算法如下。

```
r= zeros(m, n);
% 嵌入水印
% fl 为量化后的载体音频, PCM 编码, f2 为量化后
```

的秘密音频编码, r 为嵌入后的编码

```
for i= 1:m
for j= 1:n
if ( fl( i, j) == f2( i, j) )
r( i, j) = and( fl( i, j), f2( i, j) );
else
if ( fl( i, j) ~ = f2( i, j) )
if ( ( fl( i, j) == 0) & ( f2( i, j) == 1) )
r( i, j) = or( fl( i, j), f2( i, j) );
else
if ( fl( i, j) == 1) & ( f2( i, j) == 0)
r( i, j) = and( fl( i, j), f2( i, j) );
end
end
end
end
end
r% 显示编码结果:
```

嵌入前的编码:

```
fl = 0 0 0 0 0 1 0 0
```

嵌入信息为:

```
f2 = 0 1 1 1 0 1 0 0
```

嵌入后的编码:

```
r = 0 0 0 0 0 1 0 0
```

基于 PCM 编码的数字音频水印算法的抗攻击能力差, 但是它具有很好的不可感知性。

2 基于掩蔽阈值与复倒谱的数字音频水印算法

2.1 基本思想

小波变换是将信号分解到时域和尺度域上的一种变换, 尺度域可以对应于频域, 在时域和频域都具有表征信号的局部特征的能力^[6]。正是由于时频局部化性质, 对原始音频信号进行小波变换, 选择在原始音频信号的小波变换重要系数上加入水印^[7]。利用小波变换, 将原始音频信号分为高频信号和低频信号。高频分量很容易被各种常规信号处理所破坏或去除, 不具有稳健性。而低频分量具有稳健、分量系数较大和携带能量较多的特性, 考虑在低频分量中嵌入水印。为防止对低频系数的改变影响到原始信号, 这里可以考虑用复倒谱来解决这个问题。我们可以将低频信号分为两类: 小于掩蔽阈值的系数和大于掩蔽阈值的系数。我们把小于掩蔽阈值的系数作为水印的嵌入对象。

2.2 具体算法

(1) 原始音频信号分段

假设原始音频信号是连续的, 并且对数据段的划分是从原始数字音频信号的第一个采样数据开始的, 则第 k 个音频数据段可以表示为:

$$s_c(k) = \{s(k^* N + i), 0 \leq i \leq N\}$$

其中, N 为音频数据段的长度。

(2) 计算出掩蔽阈值

计算出分段后的音频的每一段的掩蔽阈值和每一个子带的最小掩蔽阈值, 可以确定每一段的掩蔽阈值 $T(z)$ 和每一段的最小掩蔽阈值 $T_{\min}(n)$ 。

(3) 对原始信号进行 K 级小波分解

对已经分段的原始音频信号的每一段进行 K 级小波分解, 这里选取 $K=3$ 。根据 $T(z)$ 和 $T_{\min}(n)$ 的值, 选取 C_{A_i} (小波分解的近似分量或低频分量), 将 $T_{\min}(n) \leq C_{A_i} \leq T(z)$ 的 C_{A_i} 作为重要系数 $z(n)$, 小波分级的细节分量或高频分量 C_{D_i} ($i=1, 2, 3$) 作为水印检测密钥。

(4) 复倒谱变换

对 $z(n)$ 进行复倒谱变化, 得到变化系数 $c(n)$ 。

(5) 对水印进行处理

采用伪随机序列对嵌入的水印信息进行置乱预处理, 以消除水印序列中相关元素的相关性, 提高嵌入水印的稳健性。

(6) 嵌入水印

利用公式 $C'(n) = C(n)(1 + \alpha\omega)$ 嵌入水印, 其中, ω 为水印序列, α 是水印嵌入强度因子。嵌入过程中可适当调整 α , 以保证水印嵌入的不可感知性。将嵌入水印的复倒谱系数进行逆倒谱变换, 然后与原始音频信号的高频系数进行小波重构得到印的音频信号。

(7) 提取水印

水印的提取为嵌入的逆过程, 如果嵌入的是图像信息, 提取水印后, 还需要将一维水印升成二维水印。这种水印提取过程需要用到原始音频信号。

2.3 实验结果与分析

实验采用一段 2 秒钟的 wav 格式的语音文件作为原始的音频信号, 其采样频率为 22050, 量化值为 8bit。在声音文件中加入了随机序列水印, 用仿真实验得到图 3 结果。

可以看出原始音频信号与嵌入水印后的音频信号几乎是没有差别的, 算法中使用了复倒谱技术, 选择的各个嵌入点之间都具有很小的相关性, 因此具有很好的隐蔽性。

部分实验原代码:

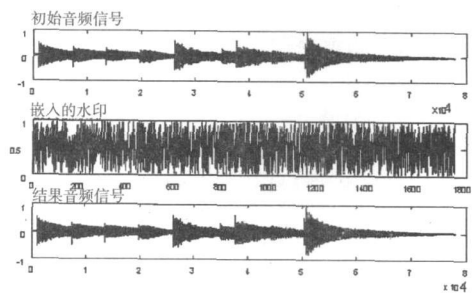


图 3 实验结果

% 提取 3 级小波分解的低频系数和低频系数

```
ca3= appcoef(C, L, 'db4', 3);
```

```
cd3= detcoef(C, L, 3);
```

```
cd2= detcoef(C, L, 2);
```

```
cd1= detcoef(C, L, 1);
```

% 产生高斯随机信号作为水印信号

```
mark= rand(1, lx);
```

```
subplot(3, 1, 2); plot(mark); title(水印信号);
```

% 用 db4 小波对水印信号进行一级小波分解

```
[cz lz]= wavedec(mark, 1, 'db4');
```

% 提取一级小波分解的低频系数和低频系数

```
calz= appcoef(cz, lz, 'db4');
```

```
cdlz= detcoef(cz, lz, 'db4');
```

% 嵌入水印信号

```
r= 0.02;
```

```
rr= mark * r;
```

```
x(jl) = x(jl) * (1 + rr);
```

```
x(jl) = icceps(x(jl));
```

% 小波重构, 生成加入了水印信号的声音信号

```
cl= [x, 'a', cd2, cd1];
```

```
sl= waverec(cl, L, 'db4');
```

3 结束语

基于 PCM 编码的数字音频水印算法是在线性时域中将水印嵌入音频信号, 输入信号和输出信号都是未压缩的音频素材, 因此它的抗攻击能力差, 简单的压缩和扩频操作, 就可以损坏其中的水印信息, 但是它具有很好的不可感知性。基于掩蔽阈值与复倒谱的数字音频水印算法中原始音频信号与嵌入水印后的音频信号几乎是没有差别的, 而没有使用掩蔽域值的算法嵌入后的音频和载体音频具有很大的差别, 可以使人耳辨别出载体音频中是否嵌入了水印。而在该算法中使用了复倒

谱技术,选择的各个嵌入点之间都具有很小的相关性,因此具有很好的隐蔽性。

参考文献:

- [1] Van Schyndel R G, Tikel A Z, O sbome C F. A digital watermark [J]. IEEE International Conference on Image Processing, 1994, 2: 86-90
- [2] 刘振华,尹萍.信息隐藏技术及其应用[M].北京:科学出版社,2002.
- [3] Gerzon M A, Graven P G. A high-rate buried-data channel for audio CD[J]. J Audio Eng Soc, 1995, 43 (122): 3222
- [4] Kim H j, choi y h. A novel echo-hiding scheme with back ward and forward kernels[J]. IEEE Trans on Circuits and Syst for Video Technol, 2003, 13(8): 8852889
- [5] Arnold M. Audio watermarking features, applications and algorithms[C] // IEEE International Conference on Multimedia and Expo. New York: IEEE Signal Processing Society Press, 2000. 101321016
- [6] 钮心忻,杨义先.基于小波变换的数字水印隐藏与检测算法[J].计算机学报,2000,23(1): 21-27.
- [7] 侯剑,付永生.一种基于DWT的自适应大容量音频水印算法[J].计算机工程,2007,33(3): 147-162

Simulation and Comparison of Digital Audio Watermarking Algorithm

LI Chunwei, HE Huaoping

(School of Computer Science, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract In this paper, the two typical digital audio algorithms, PCM code and the digital watermarking algorithm on the basis of occlusion and double backward chart, are studied and analyzed. In addition, the two algorithms are designed and simulated with MATLAB, which carries a series of simulation experiment for the algorithm and the suggestion to apply.

Key words digital audio, watermarking, encryption algorithm, simulation technique, software applications

(上接第 552页)

Realization of the Network Test System Based on ASP. NET

TANG Zijun¹, JIANG Xumei²

(1. School of Computer Science, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China

2. School of Economy and Management, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China)

Abstract Nowadays, the computer technology development fast, unifying the computer technology and the networking applies during the modern education is necessary to the development of education and also is a important means with improving the quality of teaching and the working efficiency. After analyzing the advantage and disadvantage of the traditional test and common test system, the process and the merit based on the ASP. NET network test system to realize the system are studied under the B/S website and the system existence's insufficiency is explained in this paper. The paper gives a reference for raising the development of technology in the aspects of intelligentizing.

Key words network examines system; ASP. NET; auto hewhew; auto testscoring