

# MATLAB 在音频数字水印技术研究中的应用

## Application of Matlab on Research of Digital Audio Watermarking Technology

孙荣荣 余建桥 冯林 (西南大学 计算机与信息科学学院 重庆市 400716)

**摘要:** 本文将 Matlab 应用于音频数字水印的研究中,用 Matlab 编写了水印预处理、水印嵌入等过程,并给出程序及运行结果。研究表明对于复杂音频数字水印的处理,Matlab 工具箱中的一些函数能轻松实现其处理。

**关键词:** Matlab 数字水印 音频数字水印

### 1 引言

数字水印技术是近几年国际上提出的一种新的有效的数字产品版权保护和数据维护的技术。它将特制的标记嵌入到数字图像、声音、文档图书、视频等数字作品之中,用以保护作者权益。数字水印技术包括很多种,如图像水印、音频水印、视频水印、文本水印以及用于三维网架模型的网格水印等<sup>[1]</sup>。

音频数字水印技术涉及到大量信号处理算法、数学计算工具等,如果采用普通编程工具所提供的功能来实现上述算法的编程及调制将花费大量的时间。目前,在工程计算上被广泛应用的 Matlab 软件具有强大的图像处理和数值计算功能,它可以通过本身集成的函数把水印算法实现变得简洁、高效。同时将计算、图示和编程集成到一个交互式的环境中,使计算结果和编程过程实现了可视化,另外 Matlab 语言的语法规则也较容易掌握。因此用 Matlab 技术实现音频数字水印的嵌入可以解决应用传统软件所带来的协调困难等问题。

## 2 Matlab 与音频数字水印技术

### 2.1 音频数字水印技术

音频数字水印是以感知或不可感知的形式嵌入到音频中的用于产权保护、内容检验或提取其他信息的信号。音频数字水印技术是水印生成、嵌入、提取和检测等的全过程。

通常来讲,音频水印算法至少应具备以下三方面

的特性:1)不可觉察性,即加入水印后的语音信号比起原语音信号对人耳来讲应该是听起来无差别的;2)鲁棒性,即未被授权的个人或团体企图通过一些处理方法,去除或修改嵌入的水印信息时,会引起原语音信号音质的明显下降;而对于常见的信号处理操作,如传输、过滤、重采样、有损压缩等,嵌入的信息应损坏很小,并在一定正确概率的基础上可以被检测到;3)可靠性,水印嵌入和测方法对未被授权的第三方而言,应是保密且不能被轻易破解的,而那些合法的所有者或使用,通过水印的检测过程,来证实自己的合法行为,以达到版权保护的目的<sup>[5]</sup>。

### 2.2 Matlab

(1) 强大的数值计算功能。音频数字水印技术是针对音频和图像进行研究的,而音频和图像是由矩阵表达的,将水印嵌入音频中及从音频中将水印提取出来都意味着大量的矩阵运算。而 Matlab 强大的数值运算功能是其优于其他数学应用软件的重要原因,其中矩阵运算更是 Matlab 语言的核心,且表达自然、直接。因此,利用 Matlab 强大的矩阵运算功能来实现水印技术非常合适。

(2) 方便的音频、图象读取显示功能。音频嵌入水印首先要将音频数据读取出来,嵌入后再将数据还原为音频。Matlab 提供了专门的函数用以读写音频格式的文件。其相关函数有:

wavread() 和 wavwrite(): 用于读写 MS Windows 的音频文件;

`imread()` 和 `imwrite()` 用于从图像文件中读取图像数据。

读取格为: `A = unread(filename, fmt)`

`wavplay()`: 用于播放 wav 声音文件;

`image()` 提供最原始的图像显示函数;

`imshow()` 是最常用的显示各种图像的函数。

(3) 高效的信号变换功能。Matlab 对一维和二维信号都提供了很多变换函数。包括:

`dct()` 和 `dct2()`: 分别实现一维和二维信号的离散余弦变换;

`idct()` 和 `idct2()`: 分别实现一维和二维信号的逆向离散余弦变换;

(4) 丰富的攻击函数。水印技术要求嵌入的水印不可见且有较强的鲁棒性, 不可见性可通过视觉效果和计算图像的峰值信噪比来比较优劣, 而鲁棒性则要对水印后音频进行各种攻击, 通过比较攻击后音频提取出的水印情况来说明问题。Matlab 有各种图像处理函数, 可实现对图像的各种攻击。有关的函数有:

`Wden()`: 用于一维信号的小波去噪;

`Wdencmp()`: 用于信号的小波分解去噪或者者压缩;

`Filter()` 和 `filter2()` 可实现对一维信号和一维信号的滤波<sup>[6]</sup>。

### 3 Matlab 在音频数字水印中应用

本文采用对数字音频信号采用分段的方法嵌入水印。并以图 1 为数字水印原始信号经二值化处理后得到水印嵌入音频信号的离散变换域中。其原理如图 2 所示。

#### 3.1 数据准备

假设  $A$  是原始数字音频信号, 其数据个数为  $L$ , 它可表示为:

$$A = \{a(l), 0 \leq l < L\} \quad (1)$$

其中  $a(l) \in \{0, 1, 2, \dots, (2^p - 1)\}$  是第  $l$  个数据的幅度值,  $p$  表示每个数据所用的位数。

% 读取音频信号 1. wav 存到变量 A 中 `A = wavread(F:\srr\shiyuan\1. wav);`

% 用变量 L 存储音频 A 的长度

`L = size(A);`

设  $BW$  是水印—— $M1 * M2$  二值图像, 它可表

示为:

$$BW = \{w(i, j), 0 \leq i < M1, 0 \leq j < M2\} \quad (2)$$

其中  $w(i, j) \in \{0, 1\}$ 。

% 读取图像 8. jpg 存入变量 M 做水印信号

重庆西  
南大学

图 1 要插入的水印图片

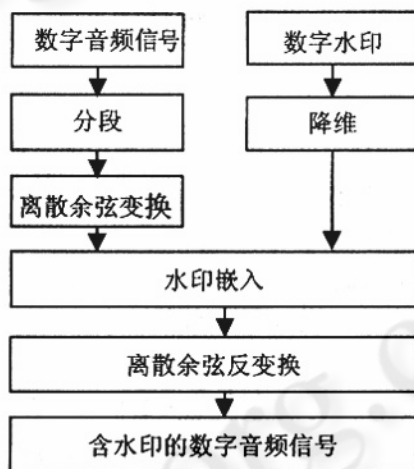


图 2 水印嵌入原理图

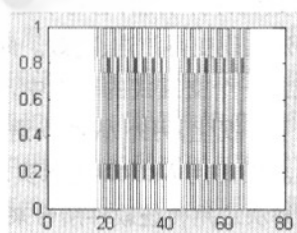


图 3 转化后的二值图像

`M = imread(F:\srr\picture\, .jpg);`

% 将图像 8. jpg 转化为二值图并存入变量 BW  
`BW = im2bw(M);`

图 3 为转化后的二值图象。

本文采用对数字音频信号分段的方法嵌入水印。每个音频数据段的数据个数为  $N$ , 在每个数据段中嵌

入水印的一个信息。水印是做为噪声加入到原始音频信号中的,若  $N$  的取值过小,将会降低数字音频信号好抽取水印的质量。因此,数据个数  $N$  的取值要大于 8。本文取  $N=10$ 。

要嵌入水印的全部  $M_1 \times M_2$  个像素,原始数字音频信号的数据个数必须满足一下条件:

$$L \geq (M_1 \times M_2) \times N \quad (3)$$

另外,为了更清楚的说明实验,将(1)中的原始数字音频信号分解成与水印嵌入有关和与水印嵌入无关两部分。

$$A = Ae + Ar \quad (4)$$

其中  $Ae = \{a(i), 0 \leq i < (M_1 \times M_2) \times N\}$  是数字音频信号的中与水印嵌入相关的部分,  $Ar = \{a(i), (M_1 \times M_2) \times N \leq i < L\}$  是与水印嵌入无关部分,它在水印嵌入前后保持不变。

% 计算水印矩阵大小

% 计算 BW 的长度

size(BW);

% 把得到的行列数分别付给 M1、M2

M1 = 65; M2 = 80;

% 定义变量 N, length 并赋值

N = 10; length = M1 \* M2 \* N;

% 将原始音频信号分解

% i 从 1 到 length 一次取值

i = 1:length; j = [1];

% 取矩阵 A 的 1 到 length 行构建矩阵 Ae

Ae = A(i, j);

% i 从 length 到 L 依次取值

i = length + 1:L;

% 取矩阵 A 的 length 到 L 行第一列构建矩阵 Ar

Ar = A(i, j);

### 3.2 音频信号分段处理

将(4)中用于嵌入水印的音频数据部分 Ae 等分成  $M_1 \times M_2$  个音频数据段,如下式:

$$Ae = \{Ae(m), 0 \leq k < (M_1 \times M_2)\} \quad (5)$$

其中  $Ae(m)$  是第  $m$  个音频数据段,它表示为:

$$Ae(m) = \{a(m \times N + i), 0 \leq k < (M_1 \times M_2), 0 \leq i < N\} \quad (6)$$

% 建立元胞 B, 每个音频数据段  $Ae(m)$  是 B 的一个元素

k = i;

% 建立  $M_1 \times M_2$  行  $\times$  1 列的元胞 B

B = cell(M1 \* M2, 1);

% 当 k 满足条件时循环执行以下操作

while(k < M1 \* M2 \* N)

% i 从 k 到 k+9 依次取值

i = k:(k+9);

m = (k+9)/10;

% 矩阵 Ae 每 10 行作为一个音频数据段存入元胞

B 中

B{m,1} = Ae(i, j);

k = k + 10;

end

### 3.3 水印的降维处理

本文所用水印为二值图象,要将其嵌入到一维的数字音频信号中,必须将二维的图像转化成一维的序列。

$$V = \{v(k) = w(i, j), 0 \leq i < M_1, 0 \leq j < M_2, k = i \times M_2 + j\} \quad (7)$$

% 降维, 将一维序列存入矩阵 c 中

c = reshape(BW, 1, M1 \* M2);

### 3.4 将水印嵌入到数字音频信号中

第一步,对音频数据部分 Ae 做分段离散余弦变换。

$$De = DCT(Ae) = \{De(k) = DCT(Ae(k)), 0 \leq k < (M_1 \times M_2)\} \quad (8)$$

其中  $De(k) = \{de(k)(n), 0 \leq n < N\}$ ,  $de(k)(n)$  是第  $k$  个音频数据段  $Ae(k)$  的离散余弦变换  $De(k)$  中的第  $n$  个系数。

代码:

% 建立元胞 D

D = cell(M1 \* M2, 1);

% i 从 1 到 M1 \* M2 依次取值

for i = 1:M1 \* M2;

% 将元胞 B 中离散余弦变换了的元素存入元胞

D 中

D{i,1} = dct(B{i,1});

end

第二步,确定数字音频信号离散余弦变换后的中频系数,由于音频数据段  $Ae(k)$  的数据个数为  $N$ ,其

离散余弦变换结果  $De(k)$  中就含有  $N$  个 DCT 变换系数。其中第 0 个 DCT 变换系数  $de(k)(0)$  为直流分量, 其它的  $N-1$  个 DCT 系数是由低频到高频的交流分量。为了提高嵌入水印的稳健性, 一般选取频率较低的交流分量 ( $de(k)(1)$  除外) 作为中频系数, 本文选取  $de(k)(3)$  作为中频系数

第三步, 修改中频系数  $de(k)(nw)$ , 嵌入序列  $V$  中元素  $v(k)$ 。

$$de(k)(n) = \begin{cases} de(k)(n)(\alpha + \alpha v(k)), & n = n_w, \\ de(k)(n), & \end{cases} \quad (9)$$

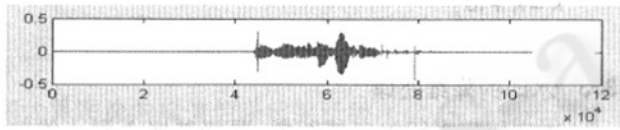


图 4 原始数字音频波形图

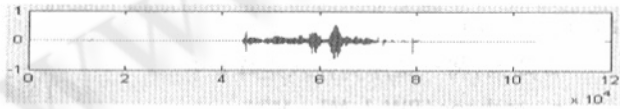


图 5 嵌入水印后的数字音频波形图

其中  $\alpha$  是比例系数, 用于控制中频系数的修改量。若  $\alpha$  的取值过小, 则嵌入水印的稳健性比较差; 若  $\alpha$  的取值过大, 则会降低原始数字音频信号的使用价值, 因此  $\alpha$  的取值应根据水印的具体条件适当选取。本文取  $\alpha=2$ 。程序代码如下:

```
% 建立元胞 E,
E = cell(M1 * M2, 1);
% 将元胞 D 赋值给元胞 E
E = D;
for i = 1:M1 * M2
% 将 D 中插入序列 V 的元素存入元胞 E
E{i, 1}(3) = D{i, 1}(3) * (1 + 2 * c(i));
End
于是,  $E(k) = \{e(k)(n), 0 \leq n < N,$ 
即:  $E = \{E(k)(n), 0 \leq k < (M_1 \times M_2)\}$  (10)
```

第四步, 对  $E$  做离散余弦反变换, 得到数字音频信号中含有水印信息的部分。

$$F = \text{IDCT}(E) = \{\text{IDCT}(k), 0 \leq k < (M_1 \times M_2)\} \quad (11)$$

```
代码:
% 建立元胞 F
F = cell(M1 * M2, 1);
for i = 1:M1 * M2
% 将元胞 E 中离散余弦反变换了的元素存入元胞 F 中
F{i, 1} = idct(E{i, 1});
End
```

第五步, 用  $F$  代替  $Ae$ , 带入式 (4), 最终得到含水印的数字音频信号。

$$G = F + Ar \quad (12)$$

```
代码:
% 将所有分离的段合并创建到一维矩阵
```

$G$  中

% 将元胞  $F$  的第 1 组元素和第 2 组元素合并创建到一维矩阵  $G$  中

$$G = [F\{1, 1\}; F\{2, 1\}];$$

%  $i$  从 3 到  $M1 * M2$  依次取值

```
for i = 3:M1 * M2
```

% 将元胞  $G$  和元胞  $F$  第  $i$  组元素合并创建到一维矩阵  $G$

$$G = [G; F\{i, 1\}];$$

```
End
```

% 将元胞  $G$  和矩阵  $Ar$  合并创建到一维矩阵  $G$

$$G = [G; Ar];$$

图 5 为水印嵌入后的数字音频波形图。

## 4 测试结果

本实验采用 16 位 352kbps 的数字音频信号作为原始音频信号, 如图 4 所示; 采用图象作为水印, 如图 1 所示。首先将原始的数字音频信号分成两部分; 其次将用于水印嵌入的部分等分成  $65 \times 80$  个 10 字节的音频数据段; 再次将该图象降维成一维的二值序列; 最后对所有音频数据段做离散余弦变换, 选第 3 个 DCT 系数, 再每个音频数据段内嵌入水印的一个像素。图 5 是含水印的音频数字信号。

从仿真试验可以看出, 采用 Matlab 工具实现水印

(下转第 126 页)

嵌入过程效率高,准确率高。与传统的 C 语言工具相比,操作简便,容易掌握,嵌入水印后不影响音频的音质,并且对数字音频的版权等问题起到了很好的保护作用,是一款理想的用于音频数字水印开发的工具。

## 5 结束语

本文通过一个基于离散余弦变换的数字音频水印算法实例来具体说明如何应用功能强大的 Matlab 语言实现一个完整的数字音频水印算法。由于 Matlab 提供了图像处理工具箱、小波分析工具箱、数字信号处理工具箱,集成的丰富的 DCT、DWT 等图像处理函数,体现出源程序简洁明了、易于实现的优点。

但 Matlab 也有不足,例如由于它是解释性语言,所以其执行速度并不是很理想,在编程时需要使用一些技巧和经验来尽量获得好的性能<sup>[7]</sup>。随着数字水印技术的日益成熟,将来也必将开发出数字水印工具箱,届时数字水印算法的实现将更加方便和有效。

## 参考文献

- 1 张宇,音频数字水印技术发展概况及新进展,世界专业音像与灯光,2006,2:13-16.
- 2 叶天语, MATLAB 在图象数字水印技术研究中的应用,计算机与数字工程,2005,33(10):140-149.
- 3 王剑、林福宗, MATLAB 在数字水印技术研究中的应用,计算机工程与应用,2003,11:156-175.
- 4 罗建禄、杨娟,基于离散余弦变换的数字图象水印算法及其 Matlab 实现,科技经济市场。2006,3.
- 5 张威, MATLAB 基础与编程入门,西安:西安电子科技大学出版社,2004.
- 6 王秋生、孙圣和,一种在数字音频信号中嵌入水印的新算法,声学学报,2001,26(5):464-467.
- 7 梁欣、谭月辉、张俊萍、刘凯, MATLAB 在图像数字水印技术研究电的运用,2006,15(6):2264-2267.