

音频数字水印技术

Digital Watermark for

Audio Signals

摘要: 在技术日新月异的今天, 数字水印越来越受到广泛的重视, 随着 internet 的发展和广泛的应用, 数字水印技术无疑将成为解决版权问题的一种理想的方案。数字水印是将信息隐藏到目标数据中的一门技术。它应该具有不可感知性和鲁棒性的特点。本文讨论了基于小波变换和统计理论的音频领域里的数字水印技术, 提出了分块水印添加技术。

关键词: 数字水印 小波变换 人类听觉系统模型 设计模式

1 引言

在当今信息爆炸的时代, 人们越来越关注知识产权、产品保护等信息安全的问题, 传统的数字加密技术已不能满足人们在信息隐藏与跟踪方面的需要。数字水印技术正是一种应运而生的信息隐藏技术, 它不同于数据加密技术, 因为它不会影响载体作品、产品的正常使用。数字水印技术主要是通过特定的水印算法把版权信息嵌在数字产品中, 使人无法从表面上感知水印的存在, 只有专用的检测仪器或计算机软件才可以检测出隐藏的水印信息, 从而达到了保护数字作品的所有者利益目的, 并促进了数字产品的开发与使用^[1]。

数字水印技术是目前信息安全技术领域的一个崭新方向, 是一种可以在开放的信息环境下保护版权和认证来源及完整性的新型技术。由于它是一种应用于开放信息环境中的多媒体数字作品

的隐藏技术, 为解决版权保护、来源认证、篡改认证、网上发行、用户跟踪等一系列问题提供了一个全新的技术方案, 因而在数字产品的知识产权保护、隐蔽标识、篡改提示、隐蔽通信和防伪等方面具有十分广阔的应用前景, 国际上工业界、学术界和军方对该项技术给予了充分的重视和大力的支持; 欧洲已有几项较大的工程项目, 如 VIVA 和 ACTS 中都有关于数字水印方面的专项研究。

本文就音频领域中数字水印技术的相关理论和实施方案进行了探讨, 提出了分块水印添加技术的信息嵌入方案, 该方法使用了关联数字水印技术, 结合当前优秀的小波变换算法 (DWT), 在保证水印良好的稳健性和不可见性的基础上, 又进一步提高了其鲁棒性。在文章的二、三部份我们将对音频数字水印技术的实现方案和此技术的

实验结果进行讨论; 在文章的最后, 对复合数字水印技术进行了简短的总结。

2 音频中数字水印的相关理论和实施方案

小波 (wavelet) 已经成为一个较为理想的信号分析、处理工具, 目前小波技术已经得到广泛地应用。基于小波变换的数字水印在数字水印研究领域中具有较好的效果, 我们可以在小波变换域中对音频信号进行定量地分析, 通过对小波尺度地选取可以选择较为理想地水印添加方式。从理论上讲, 小波基的紧支长度越长, 对数据的光滑作用就越好。特别是当嵌入数据幅度较大时, 即使客观标准变化不大, 其视觉影响也会随之增加。因此, 可以通过适当提高小波基长度来克服。同时, 也正因为这个原因, 水印信息的稳健性会随着小波基紧支长度的增加而增强。为了突出方法的优越性, 我们选择使用 Haar 小波基。离散小波变换公式如 (1)、(2):

$$c_{j+1,k} = \sum_{m=0}^{l-1} h_m \cdot c_{j,m+2k} \quad (1)$$

$$d_{j+1,k} = \sum_{m=0}^{l-1} g_m \cdot c_{j,m+2k} \quad (2)$$

公式 (3) 为离散小波逆变换公式

$$c_{j-1,k} = \sum_{m=0}^{l-1} h_m \cdot c_{j,m+2k} + \sum_{m=0}^{l-1} g_m \cdot d_{j,m+2k} \quad (3)$$

式中 h_m 、 g_m 为小波变换系数。有关小波的详细资料请参见 [2] [3] [4]。

2.1 水印的嵌入过程

针对本文提出的分块水印添加技术, 我们可以把水印的嵌入过程分为签字信息产生、原信号分析、嵌入三个步骤。在该算法中, 我们使用了关联水印技术和人字映射的方式来产生随机位置序列和服从 $N(0, 1)$ 分布的随机正态序列作为签字信息。本文所用的人字映射定义如公式 (4) (5):

设有线段 $I = [0, 1]$ 的映射函数 $f(x)$ 定义为:

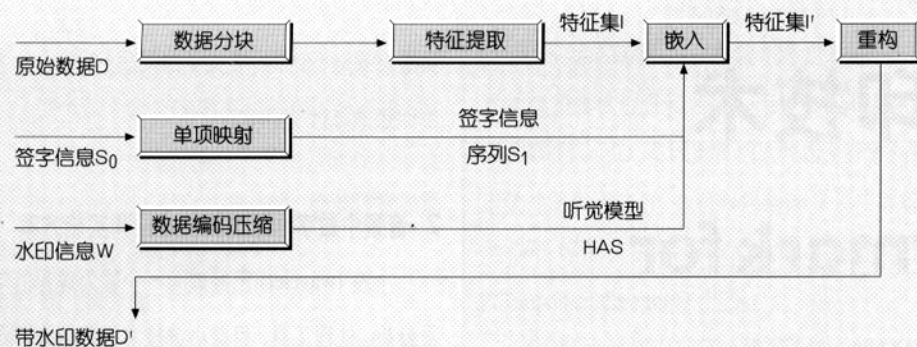


图1 水印嵌入过程

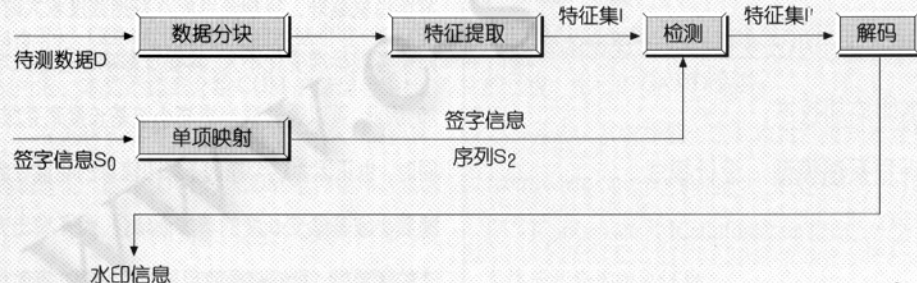


图2 水印检测过程

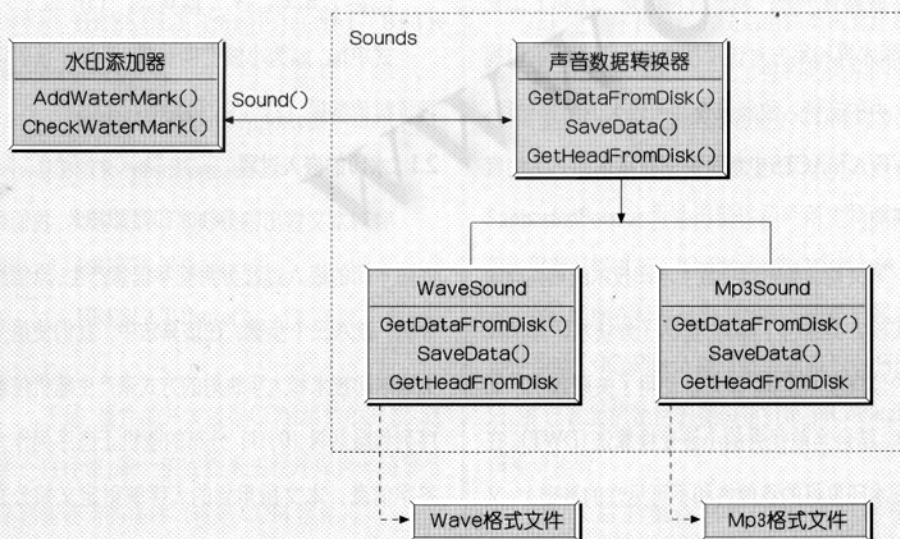


图3 应用软件结构

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x}{a} & x \in [0, a] \\ \frac{1-x}{1-a} & x \in [a, 1] \end{cases} \quad (4)$$

则该映射为线段I到其自身的映射,描述为:

$$x_{n+1} = f(a, x_n) \quad (5)$$

其中 $a \in (0,1)$ 为实数, $x_0 \in [0,1]$ 为该映射生成轨道的初值。有关人字映射和混沌理论的详细资料请参见 [1]

为了能够对原信号进行定量分析和尺度化衡量,我们利用公式 (1), (2) 的小波变换技术,将时域信号转换到尺度空间中,在原信号的低通数据中添加水印。同时,考虑到声音数据流的特殊性,我们采用分块添加水印的方法加入水印,实现了用户信息的嵌入,同时也保证了水印具有足够的鲁棒性。水印嵌入过程如图 1:

2.2 水印检测过程

水印的检测正好是水印嵌入的逆过程,通过每块之间检测出是否含有水印的组合,就可以得到用户的信息,水印的检测过程可由图 2 表示:

我们使用公式 (6), (7), (8) 计算待检测声音信号与签字信息的相关值,从而判定声音序列中的某一块是否添加了水印。设进行统计相关分析的序列为 $Y=X \cdot S$, 其中 X 为待测音频序列, S 为根据用户输入而产生的签字信息;统计相关检测值按下式计算:

$$q = \frac{M_Y \cdot \sqrt{n}}{\sigma_Y} \quad (6)$$

式中 n 为序列长度, M_Y 和 σ_Y 按下式计算:

$$M_Y = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad (7)$$

$$\sigma_Y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - M_Y)^2}{n-1} \quad (8)$$

2.3 应用软件的设计模式

在设计开发数字水印软件的过程中,为了充

分体现软件复用的思想,采用面向对象程序设计的方法,通过使用对象创建型模式设计的方案,将一个复杂的对象的构件——水印产生器——与它的表示分离,这样使用同一个构建就可以创建不同的表示。通过使用创建型模式,我们将构造代码和表示代码最大限度的分开,使得应用程序最大限度的体现出灵活、高效、可扩充性的特点。

根据创建模式设计的软件结构,可由图3表示:

3 数字水印嵌入效果和试验分析

3.1 水印嵌入效果比较

我们根据人类听觉系统模型,在变换域将水印信息嵌入到原始数据中能量较为集中的中低频部分;再通过对声音的测试,根据声音的掩蔽效应,尽可能使水印信息的能量达到最优值,加强了水印数据的稳健性,同时也保证了水印信息的隐蔽性。图4是音频数据流中一个数据块在嵌入水印信息前后时域内的波形幅度变化情况,图5为相关性检测过程中,检测出的水印序列的相关值。我们取水印的添加强度为经验值10,相关值检测阈值为5。当检测值大于阈值时,表示嵌入的数据为1,否则表示嵌入的数据为0。

4 结论

在数字水印技术的实施过程中,我们根据人

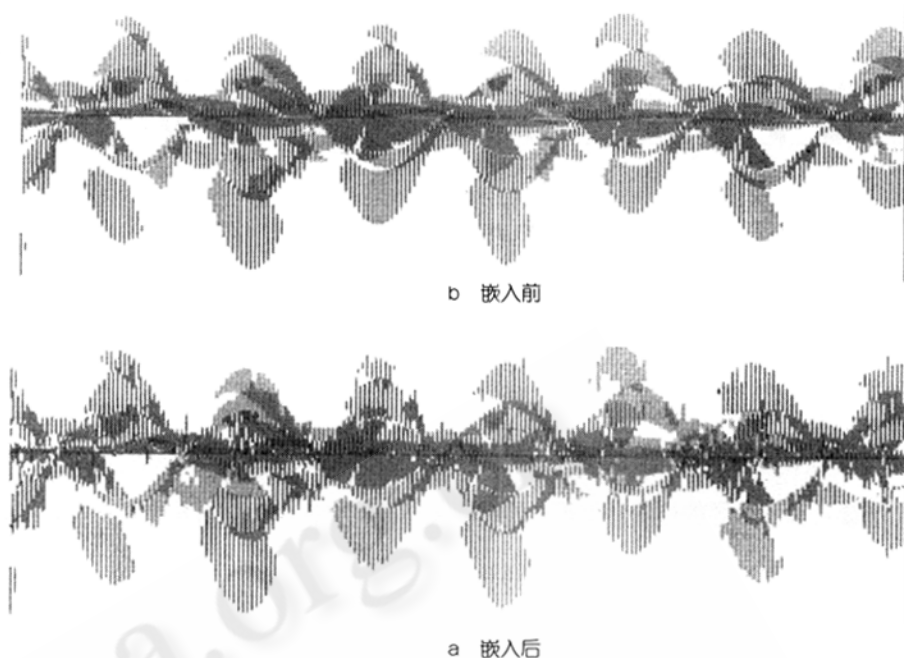


图4 水印嵌入前后音频波形比较

类听觉系统模型理论,使用了人字映射随机序列发生器、关联水印技术、分块水印嵌入技术、水印信息编码压缩技术、小波变换较为优秀的技术,我们的音频数字水印技术具有如下特点:

- 使用人字映射随机数序列发生器与常规随机数序列的相比,具有明显的优点。克服了许多常规方法的准周期性,保证了数字水印的安全。
- 使用关联序列种子生成技术和分块嵌入水印的方式,水印检测的可靠性和有效性得到了极大提高。
- 利用小波变换的方法,使我们能够定量的分析音频数据流中水印信息的能量最优值,保证了水印的隐形性和稳健性。
- 通过分块水印添加的方式,实现了用户信息的嵌入,同时也使得水印具有较好的鲁棒性。
- 利用创建型模式设计方法,极大地提高了软件的复用性能和开发进度。

在音频数字水印软件的设计与实现过程中,我们感到就目前的需求而言,数字水印软件的实

施已不存在难以逾越的障碍。随着信息技术的不断发展,数字水印将会在信息安全、产品防伪、身份验证等诸多领域得到广泛的应用。■

参 考 文 献

- 1 陈强洪,叶斌,李炳法,小波变换下关联伪随机序列的数字水印技术,电子科技大学学报。
- 2 程正兴,小波分析算法与应用,西安交通大学出版社,1998.5。
- 3 杨福生,小波变换的工程分析和应用,科学出版社,1999.2。
- 4 彭玉华,小波变换与工程应用,科学出版社,1999.9。
- 5 J.Zhao, E. Koch, And C. Luo, "In business today and tomorrow," Communications of the ACM, Vol. 41, pp. 75-77, July 1998.

图5 水印检测数据

数据块号	检测值	表示的数据
0	1.306278	0
1	0.085471	0
2	7.762915	1
3	8.434852	1
4	-0.789916	0
5	-0.491943	0
6	-0.165340	0
7	-1.749493	0