

# 基于能量选择的 DCT 域音频数字水印算法

王 铭,张玲华

(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

**摘要:**文中提出了基于能量选择的离散余弦变化域的音频水印算法。该算法根据人类听觉系统掩蔽特性和离散余弦变换能量不变的特性,利用在音频信号能量较大处插入水印对音频信号影响较小的特点,将二维的图像降维成一维的二值序列,通过音频信号时域序列的能量选择在离散余弦变换域低频系数中自适应地寻找最佳的水印图像插入点。实验表明,文中提出的算法不仅有较好的隐蔽性,而且对于数字信号处理操作中的加性高斯白噪声、滤波等具有较好的鲁棒性。

**关键词:**离散余弦变换;能量选择;数字音频水印;自适应

中图分类号:TP309

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2013)02-0233-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2013.02.060

## An Audio Digital Watermark Algorithm in DCT Domain Based on Energy Selection

WANG Ming,ZHANG Ling-hua

(College of Telecommunication & Information Engineering,Nanjing University  
of Posts and Telecommunications,Nanjing 210003,China)

**Abstract:**An audio digital watermark algorithm in DCT domain based on the energy selection is proposed in this paper. A right position in the low frequency coefficients of the DCT domain is adaptively found by the energy selection of the time-domain sequence based on masking properties of the human auditory system (HAS) and the energy invariant characteristic of discrete cosine transform (DCT). Using the feature of inserting an audio digital watermark at the larger energy place of the audio signal will cause the less impact on the audio signal and converting the two dimensional image to a one-dimensional binary sequence. Experiment results show that the proposed algorithm is not only imperceptible, but also robust to common operations to digital audio signal, such as additive white Gaussian noise, filter and so on.

**Key words:**discrete cosine transform;energy selection;digital audio watermarking;adaptive

## 0 引言

社会经济的高速发展推动了计算机网络和通信技术的迅速发展,这使得数字多媒体信息的快速广泛传播变得十分简单,但同时也带来了非法复制和盗版等损害数字作品所有者知识产权的严重问题。在这种情况下,以信息隐藏技术为核心的数字水印(Digital Watermarking)技术应运而生<sup>[1]</sup>。数字水印技术在多媒体信息的版权保护中起着重要的作用,它是信息隐藏(Information Hiding)技术研究领域中的重要分支<sup>[2]</sup>。

数字音频水印是通过将水印嵌入到音频信号中来

显示音频信号的真实性和所有权。音频水印应该满足以下要求:

(1)隐蔽性:在音频信号加入水印后,所加的数字水印不能影响原音频信号的质量;

(2)鲁棒性:嵌入的水印数据不能被未经授权的使用者通过常用的信号处理操作和攻击来移除或消除;

(3)安全性:安全性意味着水印只能由被授权的人检测到<sup>[3]</sup>。

近年来,已经有很多水印算法被提出用来产生强健和隐蔽的音频水印。一些方法在音频信号的时域内嵌入水印<sup>[4]</sup>。另外的水印技术采用了变换的方法来嵌入水印,例如:离散傅里叶变换(DFT)<sup>[5]</sup>,离散余弦变换(DCT)<sup>[6]</sup>或者离散小波变化(DWT)<sup>[7]</sup>。根据DCT变换后能量不变、能量集中性和DCT水印算法计算量较小<sup>[8]</sup>等特性,利用在音频信号能量较大处插入水印对音频信号影响较小的特点,文中提出一种基于

收稿日期:2012-06-04;修回日期:2012-09-10

基金项目:江苏省“青蓝工程”中青年学术带头人课题;江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介:王 铭(1987-),男,硕士,研究方向为现代语音处理与通信技术;张玲华,教授,博导,研究方向为语音处理与现代语音通信技术、无线通信中的信号处理。

能量比较的离散余弦变换域音频数字水印算法,在离散余弦变换域低频系数数组中自适应地寻找最佳的水印图像嵌入点,希望能够在保持音频水印较好鲁棒性的情况下,获得较好隐蔽性的结果。实验结果表明,改进算法能较好地符合实验预期结果。

## 1 理论基础

根据 Cox 等人提出的方法,水印应该嵌入到音频中除直流分量外的最重要的 DCT 系数上<sup>[9]</sup>,即 DCT 域中的低频系数<sup>[10]</sup>。这是因为人类听觉系统所能感知的主要频率部分是音频信号中的低频和中频率成份,它携带了音频信号中较多的能量,这部分频率成份能够在音频信号有一定程度失真的情况下保留其主要部分。同时在音频信号能量较大处插入水印对音频信号影响较小,所以若把水印嵌入到能量较大的 DCT 的低频系数上,则能获得较好的鲁棒性。

离散余弦变换(DCT)的解析形式如下:

$$F(k) = g(k) \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \cos \left[ \frac{(2n+1)k\pi}{2N} \right] \quad (1)$$

$$f(n) = \sum_{k=0}^{N-1} g(k) F(k) \cos \left[ \frac{(2n+1)k\pi}{2N} \right] \quad (2)$$

式中,  $F$  为 DCT 域系数序列,  $f$  为时域序列,  $0 \leq n, k < N$ 。

$$g(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}} & k = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} & k \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

无论通过什么方法在 DCT 系数上嵌入水印,其最终影响都可以认为是在 DCT 系数上叠加一个噪声信号<sup>[8]</sup>。所以嵌入水印后的第  $i$  个 DCT 系数可以表示为:

$$F'(i) = F(i) + W(i) \quad (4)$$

对应的嵌入水印后的时域序列可以表示为:

$$f'(n) = \sum_{k=0}^{N-1} g(k) F'(k) \cos \left[ \frac{(2n+1)k\pi}{2N} \right] \quad (5)$$

将式(2)和式(4)代入式(5),可得:

$$\begin{aligned} f'(n) &= f(n) + g(k) W(k) \cos \left[ \frac{(2n+1)k\pi}{2N} \right] \\ &= f(n) + w(n, k) \end{aligned} \quad (6)$$

式中,

$$w(n, k) = g(k) W(k) \cos \left[ \frac{(2n+1)k\pi}{2N} \right] \quad (7)$$

根据式(7)中  $k$  的不同取值,式(7)可以表示为:

$$w(n, k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}} W(0) & k = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} W(k) \cos \left[ \frac{(2n+1)k\pi}{2N} \right] & k \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

## 2 水印算法流程

水印嵌入过程如图 1 所示。

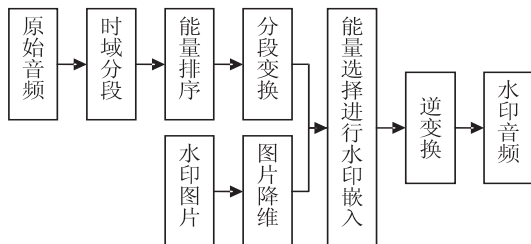


图 1 水印嵌入过程流程图

水印嵌入算法具体步骤如下:

第一步:首先读入数字音频信号  $A = \{a(i), 1 \leq i \leq L\}$ ,  $a(i)$  是时域音频信号经过采样后每一位的数值。对  $A$  进行分段,每段包含  $L_1$  个采样点,音频信号被划分为  $L_2$  段 ( $L_2 = L/L_1$ ),得到二维音频数组  $A' = \{a'(i, j), 1 \leq i \leq L_2, 1 \leq j \leq L_1\}$ 。

第二步:计算  $A'$  中每个分段的能量  $E(i) = \sum_{j=1}^{L_1} a^2(i, j)$ ,按能量大小对各个分段进行排序并生成相应的索引 index 记录排序后的分段在排序前的位置。

第三步:读入二值水印图片  $B = \{b(i, j), 1 \leq i \leq M_1, 1 \leq j \leq M_2\}$ ,  $b(i, j)$  为二维水印图片数组中每一位的数值,  $M_1$  为二维水印图片数组的行数,  $M_2$  为二维水印图片数组的列数。为了方便进行水印嵌入,将二维的图片数组降维至一维的图片数组<sup>[11-13]</sup>,得到

$$B' = \{b'(i), 1 \leq i \leq M_1 * M_2\}$$

第四步:对二维音频数组  $A'$  中的每个分段进行 DCT 变换,得到 DCT 系数数组  $C = \{c(i, j), 1 \leq i \leq L_2, 1 \leq j \leq L_1\}$ 。

第五步:根据能量排序索引 index,从 DCT 系数数组  $C$  中选择能量较大的  $N$  行 ( $N = M_1 * M_2$ ) 作为水印嵌入参考点。

第六步:根据 Cox 等人提出的方法<sup>[9]</sup>,  $v'_i = v_i(1 + \alpha x_i)$  ( $v_i$  是 DCT 系数,  $x_i$  是嵌入水印的值,  $\alpha$  是比例因子),来进行水印嵌入。为了提高算法的鲁棒性,按式(9)对  $x_i$  进行二值化处理:

$$x_i = \begin{cases} 1 & b'(i) = 1 \\ -1 & b'(i) = 0 \end{cases} \quad (9)$$

$v_i$  取每个分段的 DCT 系数数组中的 DCT 低频系数。

第七步:将修改后的 DCT 低频系数返回每个分段的 DCT 系数数组,并对其做逆离散余弦(IDCT)变换,得到嵌入二值水印图片后的音频信号  $D$ 。

水印提取过程如图 2 所示。

水印提取算法具体步骤如下:

第一步:首先读入数字音频信号  $A = \{a(i), 1 \leq i \leq L\}$ ,对  $A$  进行分段,每段包含  $L_1$  个采样点,音频信号

被划分为  $L_2$  段,得到二维音频数组  $A' = \{a'(i,j), 1 \leq i \leq L_2, 1 \leq j \leq L_1\}$ 。

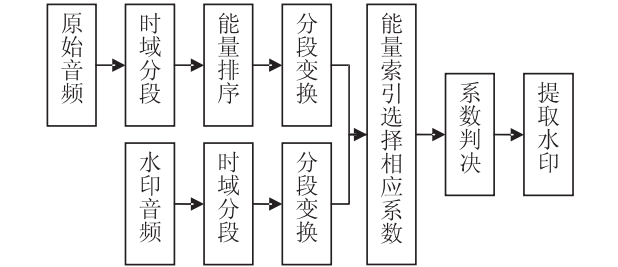


图2 水印提取过程流程图

第二步:计算  $A'$  中的每个分段的能量  $E(i) = \sum_{j=1}^{L_1} a^2(i,j)$ ,按能量大小对各个分段进行排序并生成相应的索引  $index$  记录排序后的分段在排序前的位置。

第三步:对嵌入水印的音频信号  $D = \{d(i), 1 \leq i \leq L\}$ ,对  $D$  进行分段,每段包含  $L_1$  个采样点,音频信号被划分为  $L_2$  段,得到二维音频数组  $D' = \{d'(i,j), 1 \leq i \leq L_2, 1 \leq j \leq L_1\}$ 。

第四步:对二维音频数组  $A'$  中的每个分段进行 DCT 变换,得到 DCT 系数数组  $C = \{c(i,j), 1 \leq i \leq L_2, 1 \leq j \leq L_1\}$ 。

第五步:对二维音频数组中  $D'$  中的每个分段进行 DCT 变换,得到 DCT 系数数组  $E = \{e(i,j), 1 \leq i \leq L_2, 1 \leq j \leq L_1\}$ 。

第六步:根据能量索引  $index$ ,从  $C$  和  $E$  中选择相对应的 DCT 低频系数,并进行判决。

第七步:根据判决结果,提取出嵌入的水印图片。

3 实验结果

在实验中,原始音频信号采用如图3所示的采样频率为 22.05kHz,采样大小为 16 位,位速为 352kbps,时长为 5.0363s 的 wav 音频文件,采样点数为 111051 个。当  $\alpha$  取 0.1 时,嵌入水印图像后的音频文件波形图如图4所示。

从图3和图4的音频信号波形图的对比中,可以看到文中算法嵌入水印图像后的音频波形图相比于传统算法嵌入图像水印后的音频信号波形图更接近于原始音频信号的波形图,这说明文中提出的算法具有较好的水印嵌入隐蔽性。

实验中嵌入的水印图片采用如图5所示的大小为 60×60 的黑白二值 bmp 图像文件。

用文中提出的算法与不经过能量选择直接修改音频信号 DCT 低频系数插入水印的传统算法进行水印图像提取效果的测试如表1所示。

从表1的水印图片提取效果的对比中,可以看到,文中提出的算法在对抗一些常见的信号处理操作时,

比不经过能量选择直接修改音频信号 DCT 低频系数插入水印的传统算法具有更好的鲁棒性。

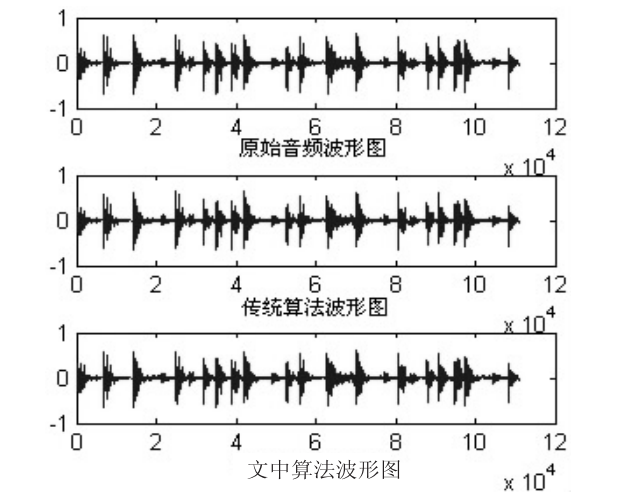


图3 音频信号波形对比图

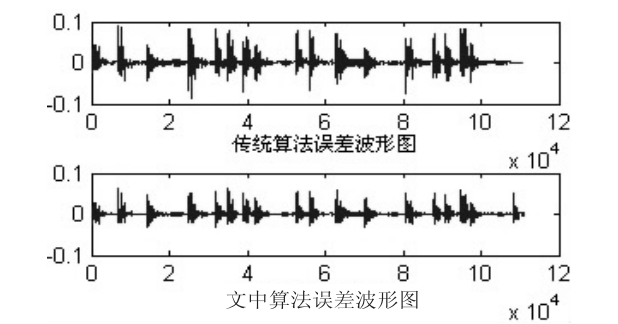


图4 误差信号波形对比图



图5 水印图片

表1 水印图片提取效果对比

攻击方式	文中算法提取效果	传统算法提取效果
无攻击	南京 邮电	南京 邮电
加性高斯白 噪声攻击	南京 邮电	南京 邮电
巴特沃斯滤 波器攻击	南京 邮电	南京 邮电
8 比特重量 化攻击	南京 邮电	南京 邮电

实验结果表明,文中提出的算法较好地符合预期结果。

4 结束语

文中提出了一种基于能量选择的 DCT 域音频数

字水印算法,该算法能够通过通过对音频信号时域序列分段的能量大小的选择,依据 DCT 变换能量不变的特性,利用在音频信号能量较大处插入水印对音频信号影响较小的特点,在分段 DCT 低频系数数组中自适应地寻找最佳的水印图像插入点。实验结果表明,该算法具有较好的隐蔽性和鲁棒性。

但同时文中提出的算法在提取水印图片时需要用到原始的音频信号,无法做到盲提取,这使得该算法的应用范围受到很大的限制。如何在该算法的基础上做到基于能量选择的盲水印提取将是作者以后的研究方向。

#### 参考文献:

- [1] 袁 漪,田小林,夏绍炜. 关于能量比较的数字音频盲水印方案[J]. 计算机工程与应用,2011,47(1):131-134.
- [2] 于帅珍,冯丽平. 数字水印的关键技术[J]. 计算机技术与发展,2010,20(2):148-150.
- [3] Dhar P K, Echizen I. Robust FFT Based Watermarking Scheme for Copyright Protection of Digital Audio Data[C]//2011 Seventh International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing. [s. l.]:[s. n.], 2011:181-184.
- [4] Bassia P, Pitas I, Nikolaidis N. Robust Audio Watermarking in the Time Domain[J]. IEEE Transaction on Multimedia, 2011, 3(2):232-241.
- [5] Xie L, Zhang J, He H. Robust Audio Watermarking Scheme

(上接第 228 页)

中心,帮助控制人员做出更合理、快速的判断,该系统在安防、环境监控、工业现场过程控制、水文监测等诸多领域发挥重要的作用,具有很高的实用价值。当然,受制于 ZigBee 协议以及 UART 接口的限制,该系统不适于传输数据量非常大的图像。

#### 参考文献:

- [1] 刘子京,裴文江. 基于 ZigBee 协议的无线传感器网络研究[J]. 计算机技术与发展,2009,19(5):192-194.
- [2] 吕治安. ZigBee 网络原理与应用开发[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2008.
- [3] 尹湘源,朱忠杰,凌志浩,等. 基于 ZigBee 协议的图像无线传输系统设计[J]. 微计算机信息,2009,25(5-2):32-33.
- [4] 秦 军,陈 迪,袁翰林. 无线 Mesh 网络中的路由分析与设计[J]. 计算机技术与发展,2012,22(2):53-56.
- [5] 章燕翼. 数字图像压缩编码标准 JPEG 和 MPEG[J]. 现代通信,2002(1):9-10.
- [6] Turgis D, Puers R. Image compression in video radio transmission for capsule endoscopy[J]. Sensors and Actuators, 2005

Based on Nonuniform Discrete Fourier Transform[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Engineering of Intelligent System. [s. l.]:[s. n.], 2006:1-5.

- [6] Zeng G, Qiu Z. Audio Watermarking in DCT: Embedding Strategy and Algorithm[C]//Proceedings of 9th International Conference on Signal Processing (ICSP'09). [s. l.]:[s. n.], 2008:2193-2196.
- [7] Pooyan M, Delforouzi A. Adaptive and Robust Audio Watermarking in Wavelet Domain[C]//Proceedings of International Conference on International Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP 2007). [s. l.]:[s. n.], 2007:287-290.
- [8] 马翼平,韩纪庆. DCT 域音频水印:嵌入对策和算法[J]. 电子学报,2006,34(7):1260-1264.
- [9] Cox I, Kilian J, Leighton F, et al. Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 1997, 6(12):1673-1687.
- [10] Tewfik H, Swanson M. Data hiding for multimedia personalization, interaction, and protection[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 1997, 14(4):41-44.
- [11] 王秋生,孙圣和. 一种在数字音频信号中嵌入水印的新算法[J]. 声学学报,2001,26(5):464-467.
- [12] 王秋生,孙圣和. 基于量化数字音频信号频域参数的水印嵌入算法[J]. 声学学报,2002,27(4):379-385.
- [13] 周礼华,周治平. 一种基于量化 DCT 域音频水印新算法[J]. 计算机工程与应用,2008,44(19):87-88.

(2):129-136.

- [7] 熊茂华,杨振伦. ARM 体系结构与程序设计[M]. 北京:清华大学出版社,2009.
- [8] 高守玮,吴灿阳. ZigBee 技术实践教程-基于 CC2430/31 的无线传感器网络解决方案[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2009.
- [9] 潘 伟,黄 东. 基于 ZigBee 技术的无线传感网络研究[J]. 计算机技术与发展,2008,18(9):244-247.
- [10] 刘礼建,张广明. 基于 ZigBee 无线技术的智能家居管理系统设计[J]. 计算机技术与发展,2011,21(12):250-253.
- [11] Sichert M L, Veerattitiphan C. Simple Accurate Time Synchronization for Wireless Sensor Networks[C]//Proceeding of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. [s. l.]:[s. n.], 2003:1266-1273.
- [12] 徐世武,王 平,黄 晔,等. 基于 ZigBee 节点的自组织网络设计[J]. 电子测量技术,2010(10):111-114.
- [13] 王 殊,胡富平. 无线传感器网络的理论及应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2007:143-144.
- [14] Safaric S, Malaric K. ZigBee wireless standard[M]. [s. l.]: IEEE, 2006:259-262.

## 基于能量选择的DCT域音频数字水印算法

作者: [王铭](#), [张玲华](#)  
作者单位: [南京邮电大学 通信与信息工程学院, 江苏 南京210003](#)  
刊名: [计算机技术与发展](#)  
英文刊名: [Computer Technology and Development](#)  
年, 卷(期): 2013 (2)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjz201302062.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjz201302062.aspx)