

数字音频信号的水印隐藏与嵌入算法

温洁嫦

(广东工业大学 应用数学学院, 广东 广州 510006)

摘要: 提出了一种基于小波变换的音频数字水印算法, 该算法具有良好的鲁棒性, 并且嵌入水印后的音频信号没有引起人耳所感知到的品质变化. 算法能抵抗常见的信号处理和音频压缩编码, 数值仿真显示了算法的有效性.

关键词: 数字水印算法; 小波变换; 音频信号; 信息隐藏

中图分类号: TP309.7

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2008)03-0051-04

数字水印技术是目前信息安全技术领域的一个崭新的方向, 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产品的隐蔽技术, 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. 目前国际上已支持或开展数字水印技术研究的机构既有政府部门, 也有大学与知名企业, 他们包括美国空军研究院、德国国家信息技术中心、日本 NTT 信息与通信系统研究中心、麻省理工学院、贝尔实验室、荷兰菲利普公司等. 并且有些公司已经推出了数字水印的软件, 如 Digimarc Corporation 等等^[1].

早期的音频水印技术研究始于 1996 年, Bender 等^[2]提出了 LSB 编码、回声编码、扩频编码和相位编码等 4 种算法, Boney^[3]等将 Cox 方案应用到音频信号中, 取得了很好的实验结果. 其后, 又有研究者对上述几种算法进行了改进与完善, 但现有技术离开真正有效保护知识产权的目标仍有距离. 已有的音频水印技术存在的一个问题是嵌入信息量明显低于图像水印所能达到的水平, 另外由于 HAS(人类听觉系统模型)远比 HVS(人类视觉系统模型)灵敏, 在音频信号中嵌入微弱水印就有可能被感知. 因此如何更充分地利用 HAS 就成了改善水印隐蔽性与稳健性、增大嵌入强度和提高检测效率的一个关键, 这是目前音频水印技术研究的主要问题.

隐蔽性与鲁棒性是数字水印技术的主要性能,

既要保持良好的鲁棒性又要保持高度的隐蔽性, 这是目前水印算法要研究的主要问题^[4]. 但这两者之间往往存在矛盾, 鲁棒性与嵌入强度直接有关, 嵌入强度越大隐蔽性越差. 以往的音频数字水印算法在嵌入水印时没有将水印信息全部嵌入到低频系数中, 原因是避免影响水印的隐蔽性. 本文将提出的一种基于小波变换的音频数字水印算法, 在小波变换后的低频系数中进行水印的嵌入, 水印信息是一幅二值图象, 通过该算法以保证水印的鲁棒性和嵌入水印后音频质量.

1 音频数字水印原理

一般来说, 水印信号是一个随机信号 $\{w_1, w_2, \dots, w_n\}$, 若原始信号为 S , 则以一定的算法从 S 中选出加入水印的位置 $\{s_1, s_2, \dots, s_{p+n}\}$, 在这些位置上按照一定的算法将随机信号叠加到原始信号上, 得到嵌入水印的信号 S' . 从 S' 的对应位置按照一定的算法提取出可能的水印信号 $\{w'_1, w'_2, \dots, w'_n\}$, 计算原始水印信号 W 与提取水印信号 W' 的相关性就可判断 S' 中是否藏有水印.

文献[5]提出了一种常用的基于小波变换的音频数字水印隐藏与检测算法.

水印隐藏算法为:

1) 对原始音频信号 A 进行 N 级小波分解, 得到不同级别分辨率下的细节分量 $D_i (i=1, 2, \dots, N)$ 和逼近分量 A_0 . 对逼近分量予以保留, 而对细节分量进行后面的处理.

2) 对待隐藏的秘密音频信号 W 进行一级分解, 得到 N 个细节分量 $W_i (i=1, 2, \dots, N)$ 和逼近分

收稿日期: 2008-04-18

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目 (07001797); 广州市科技计划资助项目 (2007J1-C0501)

作者简介: 温洁嫦 (1964-), 女, 副教授, 主要研究方向为最优化方法、数字水印技术等.

量 W_0 .

3) 对原始信号小波变换后的部分细节分量进行水印嵌入处理:

$$D' = D_i (1 + \alpha W_i),$$

其中 α 用来控制水印嵌入强度.

4) 对嵌入水印后的音频段 $D'_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 和逼近分量 A_0 进行小波重组, 得到含水印信号的音频信号.

水印检测算法为:

- 1) 对待检测的语音信号进行同样的小波变换;
- 2) 对第 N 级的细节分量, 利用原始语音信号找到隐藏了 n 个随机数的位置, 求出 W'_i ;
- 3) 求 W_i 与 W'_i 的相关. 从这个相关函数中就可以判断是不是有正确的水印信号存在.

2 基于小波分析的音频数字水印算法

以二值图像作为水印信息, 提出一个改进的基于小波变换的音频数字水印算法, 把它嵌入到原始音频信号小波分解的低频系数上. 选择低频系数嵌入水印信息的理由是:

- 1) 低频部分集中了信号的大部分能量, 把水印信号与语音信号的能量最大部分捆绑在一起, 这样音频信号遮盖了水印的影响, 使其不易被发觉.
- 2) 即使音质受到一定的破坏, 只要语音信号有一定的可读度, 水印信号就可以检测出来. 这一点是优于其它算法的.

2.1 水印嵌入算法

在离散小波变换域, 把水印嵌入到小波分解低频系数上的算法框图如图 1 所示.

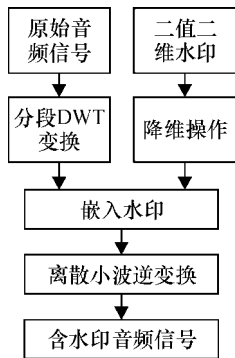


图 1 水印嵌入算法框图

嵌入水印算法具体过程如下:

- 1) 水印图像的预处理
由于音频信号是一维的, 要将一幅二值图像嵌入到音频信号中, 首先须将二值图像降维处理, 这就是水印图像的预处理^[6-7]. 二值图象可表示为: $w =$

$\{w(m_1, m_2), 0 \leq m_1 < M_1, 0 \leq m_2 < M_2\}$. 将二维图象转换成一维的数字序列 $V = \{v(k) = w(m_1, m_2), 0 \leq m_1 < M_1, 0 \leq m_2 < M_2, k = m_1 \times M_2 + m_2\}$.

2) 音频信号的分段处理

将原始数字音频信号分解成两部分, 取出与水印嵌入有关的音频段, 即

$$A_0 = A_H + A_L,$$

其中 A_H 是与文件类型有关的部分, 保留下来不作处理; A_L 是与嵌入水印有关的部分, 其长度 N 必须满足水印信息嵌入长度.

3) 离散小波变换

对 A_L 做 N 级离散小波分解, 提取低频系数 $caN(k)$.

4) 水印信息嵌入

把处理后的水印信息嵌入到低频系数, 嵌入公式为

$$caN'(k) = caN(k) + \alpha \times v(k),$$

其中, $caN(k)$ 为低频系数, $v(k)$ 为水印信息, α 为强度因子, 通过它的取值来控制水印嵌入强度. 其值大, 嵌入水印信号强度大, 受攻击时鲁棒性好, 但对原始信号影响大; 其值小, 嵌入水印信号强度弱, 不易被察觉, 但抗干扰能力差.

5) 离散小波逆变换

将嵌入水印信息的小波系数替代原来的系数分量, 再做小波逆变换, 就得到含水印信号的音频信号 A'_L , 最终得到含水印的音频信号

$$A_w = A_H + A'_L.$$

2.2 水印提取算法

提取算法的原理框图如图 2 所示.

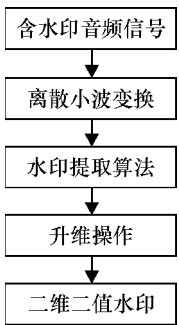


图 2 水印提取算法框图

本文给出的算法是非盲水印算法, 提取水印过程必须有原始音频信号的参与. 水印提取时的具体过程如下:

- 1) 含水印音频信号分段, 取出与水印有关的音频部分;
- 2) 对这部分音频段作 N 级离散小波变换, 提取

低频系数 $caN'(k)$;

3) 利用原始系数进行水印信息的提取 $v'(k) = (caN'(k) - caN(k)) / \alpha$;

4) 对提取出的一维水印序列进行升维操作, 即: $W' = \{w'(m_1, m_2) = v'(k), 0 \leq m_1 < M_1, 0 \leq m_2 < M_2, k = m_1 \times M_2 + m_2\}$, 最终得到二维的水印图像

3 实验结果分析

在试验中先采用 16 bit 44.1 kHz 10 s 长的 wav 格式古典音乐作为原始的数字音频信号, 采用 32×32 的二值图像作为水印, 如图 3 所示. 在水印的嵌入过程中, 选取 bior 4.4 小波函数对数字音频信号进行 3 级小波分解, 水印嵌入强度 $\alpha = 0.1$.



图 3 原始水印

图 4 是原始的数字音频信号, 图 5 是含水印的数字音频信号. 比较原始音频信号和含水印的音频信号波形图, 它们几乎没有明显区别.

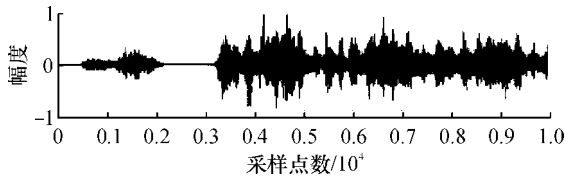


图 4 原始的数字音频信号

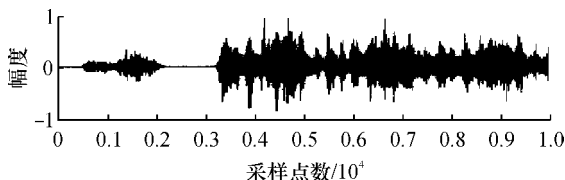


图 5 含水印的数字音频信号

一般来说, 对数字音频信号水印的攻击方式主要有有损压缩、滤波、重量化等. 为了测试算法的稳健性, 对嵌入水印的音频信号作如下处理: 1) mp3 音频压缩, 压缩至 128 kbit/s; 2) 低通滤波, 采用长度为 6 阶, 截止频率为 22.05 kHz 的低通滤波器; 3) 重量化, 先将信号从 16 bit 量化成 8 bit 再量化为 16 bit. 图 6 (a)、(b)、(c) 分别为经过上述攻击后所提取的水印.

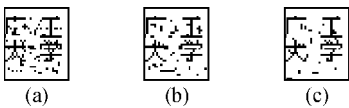


图 6 提取的水印

相关系数是对提取的水印和原始水印的相似性进行定量评价的指标, 通常采用归一化相关系数对抽取水印和原始水印的相似性进行定量的评价, 如果相关系数大于某个临界值就认为该信号就是原信号. 相关系数可用下列公式计算:

$$w(i, j) \rho = \frac{\sum_{i=1}^{M_1} \sum_{j=1}^{M_2} w(i, j) w'(i, j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{M_1} \sum_{j=1}^{M_2} w^2(i, j)} \sqrt{\sum_{i=1}^{M_1} \sum_{j=1}^{M_2} w'^2(i, j)}}$$

其中, $w(i, j)$ 与 $w'(i, j)$ 分别为水印二值图象的原始信息与提取信息.

经计算可得, 经过上述处理后, 相关系数分别为 0.75, 0.80, 0.86.

从图像和相关系数可以看出, 经过处理后, 原始水印与提取的水印具有明显的相似性, 因此很容易对水印所保护的数字音频信号的版权归属或其原始性问题做出结论. 实验结果表明本文提出的算法对有损压缩、滤波等攻击有较强的稳健性, 且重量化后水印也可以检测出来.

为进一步检测算法的隐蔽性与鲁棒性, 在上述的实验平台上, 把水印信号改为长度为 1000 的高斯分布随机序列, 语音信号长为 4 s, 采样频率为 12 kHz. 水印嵌入强度 $\alpha = 0.1$. 原语音信号、嵌入水印后信号、水印信号分别如图 7 (a)、(b)、(c) 所示. 可以看出, 原信号和含水印信号间几乎没有差别, 通过听觉也证实了这一点.

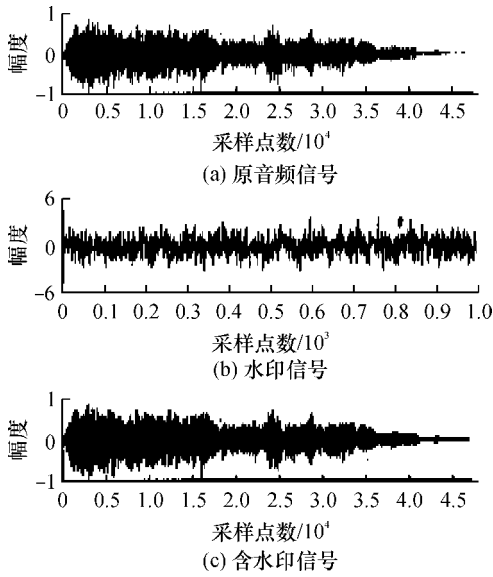


图 7 提取的水印

同样对嵌入水印的音频信号作如下处理: 1) 压缩编码; 2) 低通滤波; 3) 重量化. 经过上述处理后, 计算得水印相关系数分别为 0.85, 0.80, 0.82. 同样

证明算法对有损压缩、滤波等攻击有较强的稳健性,且重量化后水印也可以检测出来。

4 结论

本文借鉴小波变换域音频数字水印的常用方案,提出一种改进的音频水印算法。实验结果表明,该算法简单,抗干扰能力强;在嵌入过程中,把水印信号全部放在语音信号能量最大的部分——低频部分,具有良好的鲁棒性,也能使语音信号遮盖了水印的影响;在检测过程中,即使音质受到一定的破坏,只要语音信号有一定的可读性,水印就可以检测出来。并且算法具有良好的隐蔽性与鲁棒性,人耳基本觉察不出对原始音频信号的影响,能抵抗一般的信号攻击。

参考文献:

- [1] 宋玉杰,刘瑞祯,谭铁牛,等. 数字水印技术在印刷品防伪中的应用[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(A)(5): 28-30
- [2] Bender W, Gruhl D, Morimoto D, et al. Techniques for data hiding[J]. IBM Systems Journal 1996 35(3&4): 313-318
- [3] Boney L, Tewfik A, Handy K. Digital watermarks for audio signals[J]. IEEE Int Conf On Multimedia Computing and Systems 1996 30(1): 473-480
- [4] 钮心忻. 信息隐藏与数字水印的研究及发展[J]. 计算机教育, 2005, 25(1): 22-24
- [5] 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.
- [6] 季隽, 童学锋, 武强. 数字音频信号的水印嵌入算法[J]. 计算机应用, 2003, 23(7): 34-36
- [7] 王秋生, 孙圣和, 郑为民. 数字音频信号的脆弱水印嵌入算法[J]. 计算机学报, 2002, 25(5): 520-525

Hidden and Embedded Watermarking Algorithm for Digital Audio Signals

Wen Jie-chang

(Faculty of Applied Mathematics, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract A kind of digital audio signal watermarking algorithm is proposed, which has stronger robustness. The influence of embedded watermarking on the original audio signal can not be found by the human perceptual system. The proposed algorithm can resist the general signal processing and audio compressing codes. Computer simulation shows the effectiveness of the proposed algorithm.

Key words digital watermarking algorithm; wavelet transformation; audio signal; information hiding