

基于 ICA 的音频数字水印在彩铃版权保护中的应用

任 平^{1,2,3}, 姜真杰⁴, 李亚琴²

(1 江苏省现代企业信息化应用支撑软件工程技术研究开发中心, 江苏 苏州 215000;

2 苏州市职业大学, 江苏 苏州 215000; 3 信息工程大学, 河南 郑州 450002;

4 东华大学 信息学院, 上海 200051)

摘 要: 提出了一种基于独立分量分析(Independent Component Analysis, ICA)的音频数字水印方法. 嵌入水印时, 对原始音频文件进行一级小波分解, 在分解得到的逼近分量中利用随机混合方法嵌入加密水印后进行小波逆变换形成嵌入水印的音频文件. 提取水印时, 对音频文件进行一级小波分解, 用基于快速 ICA 方法进行水印提取. 仿真实验结果表明这种方法的强鲁棒性和可行性. 这种方法可有效地保护网络上彩铃的版权和下载权限.

关键词: 音频数字水印; 独立分量分析; 离散小波变换; 彩铃

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)01-0077-04

The Application in MRBT Copyright Protection of Digital Audio Watermarking Based on Independent Component Analysis

REN Ping^{1,2,3}, JIANG Zhen-jie⁴, LI Ya-qin²

(1. Jiangsu Modern Enterprise Application Support Information-Based Software Engineering Research and Development Center, Suzhou 215000, China;

2 Suzhou Vocationnal University, Suzhou 215000, China;

3 Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China;

4 College of Information, Donghua University, Shanghai 200051, China)

Abstract: A method of digital audio watermarking based on Independent Component Analysis is proposed in this paper. When embedding watermarking, the original audio is decomposed by Single-level discrete 1-Dwavelet transform, watermarking is embedded by mixing randomly to the approximation coefficient vector obtained, and the audio is Single-level reconstructed receiving audio having watermarking. When extracting watermarking, the audio is decomposed by Single-level discrete 1-Dwavelet transform, and watermarking is extracted by ICA based on kurtosis maximization. Emulated experiment results show that this method is robust and feasible. This method can protect the copyright of MRBT effectively on internet.

Key words: digital audio watermarking; ICA; discrete wavelet transform; MRBT

1 引言

当前移动通信迅猛发展^[1-2], 在移动网络中使用的图片、铃声、游戏、资讯等出现大量的未授权使用. 作为版权保护的数字水印在移动网络中的应用日益重要^[3].

文中提出了一种基于 ICA 的音频数字水印方法.

嵌入水印时, 首先对水印信息进行加密处理, 然后利用小波变换对原始音频文件进行一级小波分解, 分解得到逼近分量和细节分量, 在得到的逼近分量中用随机混合的方法嵌入水印, 然后对嵌入水印的逼近分量和细节分量进行小波逆变换得到嵌入水印的音频文件. 在提取的时候, 先对音频文件进行一级小波分解, 然后用基于快速 ICA 方法进行水印提取, 这种方法计

算量小.最后用一组实验结果证明,在保证听觉效果的前提下嵌入容量大,鲁棒性强,能经受较强的攻击,所以是一种可行而且有效的新方法.

2 ICA 概述

假设 n 个未知源信号 $S = [s_1, s_2, \dots, s_n]^T$ 被 n 个传感器序列观察得到 $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$. 从 s_i 到 x_i 的映象是一个未知函数

$$x_i = f_i(s_1, \dots, s_n) \quad (1)$$

如果这个函数是源信号的线性混叠,那么式(1)可以写成线性的形式

$$X = AS \quad (2)$$

式中, A 是一个随机满秩矩阵,把它称为混合矩阵.

ICA 的目标就是求出一个分离矩阵 W ,使得

$$Y = WX \approx S \quad (3)$$

式中, Y 是分离出的信号.如果 Y 的分量是独立的,那么 Y 就被近似认为是源信号 $S^{[3]}$.

作为未知混合矩阵 A 和源信号 S 的任何先验信息的一种补偿,通常给出如下几个约定:

- (1) 各源信号是统计独立的;
- (2) 混叠矩阵 A 是可逆的;
- (3) 源信号中最多只能有一个高斯信号,否则是不可分离的.

3 水印嵌入算法

Step1:文中所用水印为二值图像,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.

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

% 降维,将一维序列存入矩阵中,

$$S_w = \text{reshape}(BW, 1, M_1 \times M_2).$$

Step2:对取得的要嵌入水印的原始彩铃音频信号进行离散小波分解后取得细节分量 S_{cd} 和近似分量 S_{ca} .

Step3:取得原始彩铃音频的长度和嵌入水印序列长度.

Step4:根据长度比较选择合适的位置嵌入水印,实施嵌入.

$$\text{if}(L(S_w) < L(S_{ca}))$$

{在 S_{ca} 中从末尾处选取一段 $S_{ca'}$, 且有 $L(S_{ca'}) = L(S_w)$, 剩余部分为 $S_{ca''}$, 令 $S = [S_{ca'}, S_w]^T$, 随机生成矩阵 A , 并令 $(x = AS(X = [x_1, x_2]^T)$, 取

$x_1 = [x_1, S_{ca'}]$, 作为提取水印时的密钥;}

else if($L(S_w) = L(S_{ca'})$)

{令 $S = [S_{ca'}, S_w]^T$, 随机生成矩阵 A , 并令 $X = AS(X = [x_1, x_2]^T$, x_2 作为提取水印时的密钥;}

step5:对 x_1 和 $S_{ca'}$ 进行小波逆变换得到嵌入水印后的音频文件 S_{ap} . 将水印嵌入到数字音频信号中.

4 水印提取算法

4.1 基于快速独立分量分析的原理

采用的是基于互信息和负熵的 ICA 方法^[3-4], 值得注意的是, ICA 存在一定的假设条件, wTx 为单位方差, 且 x 预先要进行白化处理, 因此限制条件等价要求 w 模要为 1. FastICA 算法采用的是定点的迭代法来寻找 wTx 非高斯性最大的方向. 步骤如下:

(1) 首先对信号中心化, 通过减去其均值, 使得信号的均值为 0. 假如信号 x , 其均值为 $m = E\{x\}$, 则中心化过程为 $y = x - m$, 即去掉 x 的均值, 使它成为零均值向量;

(2) 然后对 x 进行白化处理, 即对 x 进行线性变换 V , 得 $v = Vx$, 其中, v 的各分量互不相关, 且具有单位方差. 如设原信号为 x , 白化后的信号为 v , 则有 $E\{vv^T\} = I$.

一般来说可以利用对信号的协方差矩阵进行特征值分解实现对信号的白化处理, 即 $E\{xx^T\} = EDE^T$, 注意 E 是由 $E\{xx^T\}$ 的特征向量组成的正交矩阵, $d = \text{diag}(d_1, \dots, d_n)$ 是由与特征向量对应的特征值组成的大角矩阵. 白化后的信号线性变换可通过下式进行:

$$v = Vx = ED - 1/2ETx$$

对信号的白化可以得到一个混合矩阵 B . 由于 $x = As$, 则 $v = ED - 1/2ETAs = Bs$. 对于矩阵 A , 使用独立分量分析算法估计要 i^2 个参数, 而对矩阵 B , 由于它是正交矩阵, 只需要估计 $i(i-1)/2$ 个参数, 所以说白化过程大大地降低了算法的运算量;

(3) 令 $i = 0$, 并初始化权值向量 $w(0)$;

(4) 做赋值 $i = i + 1$;

(5) 令 $w(i+1) = E[zg(w^T(i)v)] - E[g'(w(i)^v)]w(i)$;

(6) 对其归一化处理:

$$w(i) \leftarrow \frac{w(i)}{\|w(i)\|}$$

(7) 检查 $w(i)$ 的收敛性. 如果未收敛, 那么使得 $i \leftarrow i + 1$ 并回到(4), 否则, 输出向量 $w(i)$;

(8) 利用 $w(i)$, 得到一个分离出的源信号即 $y_i = w(i)x_i$

要想得到 n 个独立分量, 上述算法重复 n 次.

4.2 水印提取算法

step1: 读取由可能含有水印信息的彩铃音频 $S_{\text{印}}$;

step2: $S_{\text{印}}$ 对进行离散小波分解, 得到近似分量和细节分量, 分别记为 X_{ca}, X_{cd} ;

step3: 令 $X = [X_{ca}, x_2]^T$;

step4: 调用如前所述的 FastICA 求得 A^{-1} ;

step5: $Y = A^{-1}X, Y = [y_1, y_2]^T$;

step6: 解密二值序列 y_2 ;

step7: 将 y_2 还原成一个 $M_1 \times M_2$ 的二维矩阵 W' ;

step8: 显示提取出来的水印信息 W' , 如果要进一步和原来水印信息比较, 可以使用下式计算 W 和 W' 的相关系数以定量评价 W 和 W' 的相似性

$$R = \frac{\sum_{i=0}^{M-1} W'(i)W(i)}{\sqrt{\sum_{i=0}^{M-1} (W'(i))^2 \sum_{i=0}^{M-1} W^2(i)}}$$

5 仿真实验

为了进一步验证此方法的可行性和鲁棒性, 做了大量的实验, 现举一例:

选择的原始的彩铃音频文件: 长度为 6s, 采样频率 44kHz, 分辨率 16bit, 原始水印图片文件: 格式为 bmp, 位深度为 1 载体模型文件大长度 2s, 采样频率 22.05kHz, 分辨率 16bit, 水印图像是一幅 64×64 的二值图像, 将载体模型文件进行一级小波分解, 在分解得到的逼近分量中选取长度为 4096 的一段并和转化为一维的水印图像随机混合, 混合矩阵 A 是阶的矩阵^[5-6].

图 1 是原始模型信号.

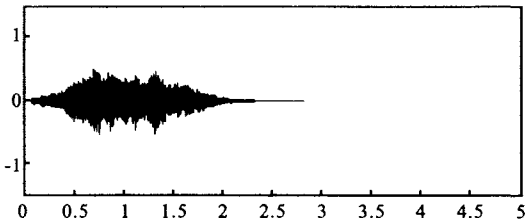


图 1 原始彩铃信号

因为人类的听觉具有掩蔽效应, 即在时域上和

频域上, 强声音信号分量可掩蔽附近(时间前后、频率上下)弱的声音信号分量, 所以在嵌入水印后不会影响原始模型文件的听觉效果. 图 2 是加入水印后的模型信号.

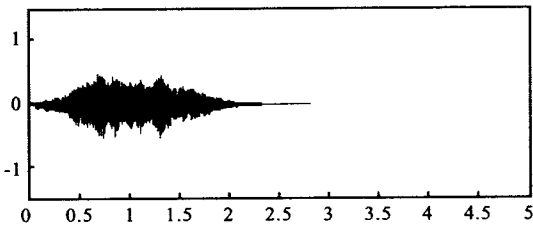


图 2 嵌入水印后的彩铃信号

图 3 是原始水印图像, 图 4 是未对模型文件进行攻击时提取出来的水印图像.

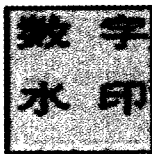


图 3 原始水印图像



图 4 未攻击

对嵌入水印的模型文件进行了相应的攻击, 攻击后按照上文介绍的提取算法进行水印的提取:

(1) 噪声攻击

① 高斯白噪声

图 5 是对模型文件进行系数 0.7 高斯白噪声攻击后提取出来的水印图像, 噪声的方差为 1.266 7; 图 6 为高斯噪声; 图 7 为重新量化; 图 8 为 MP3 压缩; 图 9 为随机剪裁.



图 5 高斯白噪声



图 6 高斯噪声

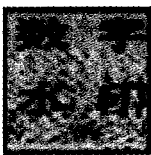


图 7 重新量化



图 8 Mp3 压缩



图 9 随机前綫

② 盐噪声

图 10 到图 15 是对模型文件进行椒盐噪声攻击后提取出来的水印图像, 攻击系数分别为 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6.

(2) 重新采样(含低通滤波)

图 16~图 21 是对嵌入水印的模型文件进行重新采样后提取出来的水印图像, 采样倍数分别是 2,

5,10,20,30,40.



图 10 系数 0.1

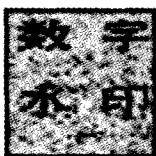


图 11 系数 0.2



图 12 系数 0.3



图 13 系数 0.4



图 14 系数 0.5



图 15 系数 0.6



图 16 倍数 2



图 17 倍数 5



图 18 倍数 10



图 19 倍数 20



图 20 倍数 30

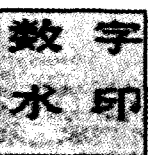


图 21 倍数 40

(3) 重新量化

然后是把嵌入水印的模型文件的分辨率量化成 8bit 再还原后提取出来的水印图像。

(4) 有损压缩

嵌入水印的载体彩铃音频文件是 .wav 格式的, 为 1.08Mb, 用常用的转换软件把文件转换成为常用的 .mp3 格式, 然后再转换回来, 大小为 1.01Mb, 压缩比为 6.26%。

表 1 模型文件经过攻击后提取出来的水印图像和原始水印图像的相关系数

攻击方式	相关系数	攻击方式	相关系数
未攻击	1.000 0	重新采样 2	0.999 1
高斯白噪声	0.985 2	重新采样 5	0.997 8
椒盐噪声 0.1	0.978 8	重新采样 10	0.993 3
椒盐噪声 0.2	0.971 1	重新采样 20	0.966 5
椒盐噪声 0.3	0.970 2	重新采样 30	0.951 8
椒盐噪声 0.4	0.967 5	重新采样 40	0.932 6
椒盐噪声 0.5	0.948 7	重新量化	0.855 1
椒盐噪声 0.6	0.850 8	Mp3 压缩	0.986 1
高斯噪声	0.979 5	随机剪裁	0.825 2

(5) 剪裁攻击

模型文件经过攻击后提取出来的水印图像和原始水印图像的相关系数如表 1 所示。

相关系数的均值是 0.953 2, 方差是 0.003 2。

表 2 是文中方法和文献[5]中方法相关系数比较。

表 2 文中方法和其他方法比较

攻击类型	文中方法	文献[5]
有损压缩	0.986 3	0.532 3
剪切	0.825 1	0.525 2

6 结束语

文中提出了一种基于 ICA 的音频数字水印的嵌入和提取方法. 该方法嵌入的是加密的二维的二值图像而不是随机序列. 理论分析和试验结果表明, 这种方法对水印的嵌入和提取非常有效, 而且嵌入和提取的过程简单、直观, 在保证听觉效果的前提下嵌入容量大, 重要的是在对加入了水印的彩铃文件进行强烈攻击后仍然能够提取出水印, 说明这种方法的鲁棒性很强, 是一种有效而且容易实现的水印新方法。

参考文献:

[1] 苏北. 浅谈中国移动各省两套彩铃平台并存建设方案[J]. 电信技术, 2007, 22(4): 62-65.

[2] 蔡晓东, 田广利. 基于 DRM 的电子文档保护系统设计与实现[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(7): 8-12.

[3] 伍宏涛, 柏承. 基于 FFT 域的手机彩信盲检测图像水印[J]. 电子学报, 2006, 34(7): 1236-1240.

[4] 刘璐, 孙建德, 张新刚. 基于 ICA 的数字水印的方法[J]. 电子学报, 2004, 32(4): 658-661.

[5] Sungjin Park. Independent component analysis of digitally modulated mixtures[J]. A Dissertation Submitted to Florida Institute of Technology, 2003, 22(3): 9-15.

[6] 周克兰, 张玉华. 基于听觉掩蔽效应和小波变换的数字音频水印[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(3): 8-13.

作者简介:

任 平 男, (1978-), 硕士. 研究方向为图像图像处理、DRM、虚拟现实等。