

一种基于 MDCT 量化系数小值区的 AAC 隐写方法

王昱洁, 杨 萍, 蒋薇薇

(合肥工业大学 计算机与信息学院, 安徽 合肥 230009)

摘 要: 提出一种在 AAC 编码过程中嵌入秘密信息的方法. 该方法利用 MDCT 量化系数的小值区一般处于中高频段, 具有良好的不可感知性这一特点, 对小值区的 MDCT 量化系数按照一定的规则进行修改来实现秘密信息的嵌入. 嵌入算法先对载体 AAC 文件进行比特流解包, 通过码本信息搜索出小值区的码字, 并对码字进行解码得到一组量化系数. 在保持编码长度不变的条件下, 通过量化系数对的映射, 每组至多修改一个量化系数来实现秘密信息的嵌入. 实验表明, 该隐写方法对 AAC 编码的长度没有任何改变, 具有较高的嵌入容量、良好的不可感知性, 以及较好的抗隐写分析性.

关键词: AAC; 音频隐写; MDCT 量化系数; 不可感知性

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)11-0053-06

A Steganography Method for AAC Based on Little Data Regions of Quantized MDCT Coefficients

WANG Yu-jie, YANG Ping, JIANG Wei-wei

(School of Computer and Information, Hefei University of Technology of China, Hefei 230009, China)

Abstract: An information hiding method in the process of AAC coding is proposed based on research of AAC coding standard. The proposed method modifies coefficients of the little regions by rules to embed secret information, using the features of the little data regions which generally exist in the high frequency band and have good imperceptibility. The algorithm first unpacks the cover AAC file to search for the little data region according to code books, and then gets a group of quantized coefficients by decoding a code word. Under the condition of maintaining the length of the code words, no more than one coefficient of each group is modified to embed the secret information by mapping of a pair of coefficients. Experimental results reveal that the proposed method can obtain higher hidden data capacity, without any changes of the length of AAC coding, furthermore, it has good imperceptibility and good resistance to steganalysis.

Key words: AAC; audio steganography; quantized MDCT coefficients; imperceptibility

1 引言

隐写术是在公开的数字媒体中以某种算法嵌入秘密信息的技术, 可以利用公开的信道实现秘密通信. 目前关于音频隐写方法的研究主要利用未压缩格式音频作为载体, 但是以未压缩音频作为载体的隐写方法存在着未压缩音频的体积较大, 不利于通信传输, 且在网络上并不常见, 容易引起监控者的怀

疑, 影响隐写的安全性等缺点. 目前在互联网上绝大部分的音频都是以 MP3 为代表的压缩编码进行存储和传输的, 先进音频编码(AAC)是在 MP3 的基础上开发出来的一种音频编码标准, AAC 较 MP3 具有更好的音质和压缩率^[1], 也是目前在互联网上比较流行的一种音频格式, 是一种理想的隐写载体, 因此, 对于 AAC 隐写方法的研究具有实际的意义.

虽然在以未压缩域音频作为载体的隐写研究

收稿日期: 2014-12-20; 修回日期: 2015-01-17

基金项目: 安徽省自然科学基金(1308085QF116); 中央高校基本科研业务费专项资金(2012HGBZ0202)

中,已出现不少的成熟的隐写方法和隐写工具,但是在压缩音频中嵌入秘密信息要比在未压缩音频中困难得多,原因在于压缩音频本身的冗余较少,且以编码比特流的形式存在,因此压缩音频与未压缩音频的隐写方法有所差别.目前对于压缩音频隐写方法的研究主要集中在以 MP3 为载体上^[2-5],而以 AAC 为载体的隐写方法的研究相对较少,根据嵌入位置的不同,大体上分为四类方法.

一、基于时域的信息隐藏方法^[6],即在未压缩的时域信号中嵌入秘密信息再压缩成 AAC 格式的音频,但是在 AAC 压缩过程中容易丢失部分秘密信息,且算法复杂度较高,无法满足实时性的要求,因此这种方法目前在压缩域音频的信息隐藏中很少使用.

二、基于频域实数信号的隐藏方法^[7],该类方法在嵌入前需要将量化系数通过反量化得到频域实数信号,并在频域实数信号中嵌入秘密信息,嵌入后还需经过量化过程,计算复杂度较高,且在量化过程中可能损失部分信息.

三、基于频域量化值的隐藏方法. S. Cheng 等^[8]采用扩频调制的方式将秘密信息嵌入到量化后的 MDCT 系数中. 该类方法在嵌入过程中只需对 AAC 进行部分解码,得到量化后的 MDCT 系数,而不需要经过反量化和量化的过程,既避免了量化过程中可能造成的秘密信息的损失,又减少了量化过程的计算复杂度.

四、基于比特流的隐藏方法. Wang 等^[9]提出基于 AAC 溢出序列的隐写方法采用矩阵编码的方式将秘密信息嵌入到比特流中溢出序列的最低位上,该类方法直接在比特流上进行嵌入,无需经过反量化、量化、MDCT 变换等过程,因此算法复杂度较低.但是基于比特流的隐藏方法通常冗余空间较少,隐藏容量也较少.

上述第一类和第二类方法在嵌入过程中需要经过量化和反量化的过程,运算复杂度高,且在量化过程中可能造成秘密信息的损失,因此,我们选择在量化后的 MDCT 系数中进行秘密信息的嵌入. 文献^[10]中提出了一种基于 MDCT 量化系数小值区的 AAC 隐写方法,通过修改每组的最后一个量化系数实现秘密信息的嵌入,该方法具有较好的嵌入容量和不可感知性,但是会引起编码长度的变化. 本文提出的 AAC 隐写方法,在保持编码长度不变的条件下,通过量化系数对的映射,每组至多修改一个量化系数来实现秘密信息的嵌入. 本文方法具有较高的

嵌入容量和良好的不可感知性,且保持 AAC 编码长度不变,具有较好的抗隐写分析性.

2 基于 MDCT 量化系数小值区的隐写原理

在 AAC 标准中,心理声学模型、滤波器组、比例因子、量化以及无噪声编码模块是必要的^[11]. 其中心理声学模型通过计算掩蔽阈值等信息对 AAC 的编码过程进行指导,滤波器组将每一帧的音频时域采样信号变换成频域的 MDCT 系数,量化模块对 MDCT 系数进行量化,采用内外循环嵌套的结构,限制量化编码所需的比特数,并使量化噪声低于最大允许失真. 无噪声编码模块对量化后的系数和比例因子进行 Huffman 编码.

图 1 是一 AAC 音频某一帧的量化后 MDCT 系数的绝对值分布图. 从图 1 中可以看出,量化系数可分为大值区、小值区和零值区,其中小值区是量化系数为 $\{-1, 0, 1\}$ 的区域. 小值区一般位于中高频段,该区域的量化系数本身量化误差较大,对小值区系数的轻微改动对音频质量的影响较少,在该区域进行秘密信息的嵌入能够较好地满足鲁棒性和不可感知性的要求.

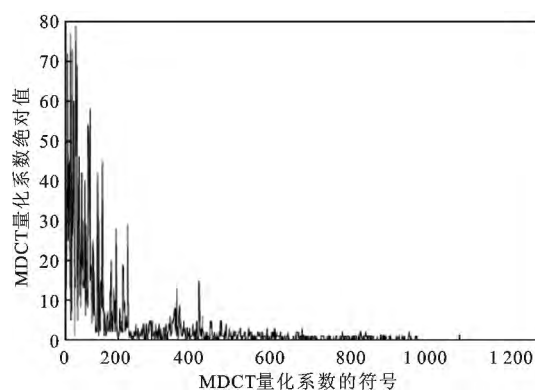


图 1 某一帧量化后 MDCT 系数绝对值的分布图

在 Huffman 编码环节, AAC 标准一共使用了 12 个码本(Codebook). 其中第 1 个码本是用比例因子编码的,第 2 和第 3 个码本用于最大绝对值为 1 的量化系数的编码,正好满足小值区的要求,因此小值区的量化系数编码采用第 2 和第 3 个码本进行编码,也可以在解码过程中通过码本搜索小值区的码字. 在小值区的编码过程中,将每一个比例因子带中的 4 个量化系数分为一组,按照式(1)组合成码字索引(index),再根据 index 查找相应的码表来进行 Huffman 编码.

$$\text{index} = 27 * \text{quant}[i] + 9 * \text{quant}[i + 1] +$$

$$3 * \text{quant}[i+2] + \text{quant}[i+3] + 40 \quad (1)$$

在解码过程中,首先将 Huffman 编码根据相应的码表解码成 index,再将 index 分解为一组 4 个的量化系数,其分解算法如下:

$\text{mod}=3; \text{off}=1;$

$w = \text{INT}(\text{idx}/(\text{mod} * \text{mod} * \text{mod})) - \text{off}; //$

INT 表示下取整, idx 表示 index.

$\text{idx} = (\text{w} + \text{off}) * (\text{mod} * \text{mod} * \text{mod});$

$x = \text{INT}(\text{idx}/(\text{mod} * \text{mod})) - \text{off};$

$\text{idx} = (x + \text{off}) * (\text{mod} * \text{mod});$

$y = \text{INT}(\text{idx}/\text{mod}) - \text{off};$

$\text{idx} = (y + \text{off}) * \text{mod};$

$z = \text{idx} - \text{off}; //$ w, x, y, z 为 index 分解出的每组 4 个量化系数.

将码本 2 和 3 中的 index 通过上述分解算法分解得到每组 4 个量化系数,经过观察,可以发现:编码长度相同的一组量化系数,其量化系数为零的个数也相同.为了较好地满足不可感知性的要求,减少载体数据的修改量,我们规定在嵌入秘密信息时每组 4 个量化系数至多修改其中的 1 个,并保持编码长度不变,因此可采用编码映射的方法进行秘密信息的嵌入.

在嵌入前,应先根据码本 2 和 3 建立映射表,映射表中包含的信息有 index 对和码长,其中 index 对用于秘密信息嵌入时的相互替换. index 对的建立满足如下条件:位于同一码本,对应的编码长度相同,且每组 4 个量化系数只有 1 个不同.由于同一码本中,满足码长相同且每组量化系数中只有一个不同的 index 可能不止一对,为了防止发生混淆,我们规定按照优先级顺序进行 index 的配对,每组最后一个量化系数 $\text{quant}[i+3]$ 的优先级最高,第一个量化系数 $\text{quant}[i]$ 的优先级最低,优先级按照 $\text{quant}[i+3]$ 到 $\text{quant}[i]$ 的顺序由高到低.例如:码本 2 中 index 为 0、2、6 对应的码长都是 11, index 为 0 分解出的一组量化系数为 $\{-1, -1, -1, -1\}$, index 为 2 的量化系数为 $\{-1, -1, -1, 1\}$, index 为 6 的量化系数为 $\{-1, -1, 1, -1\}$. 这三个 index 对应的码长相同, index 为 0 和 2 的量化系数只有 $\text{quant}[i+3]$ 不同,而 index 为 0 和 6 的量化系数只有 $\text{quant}[i+2]$ 不同,因此按照优先级顺序将 index 0 和 2 进行配对.以此类推,找出码本 2 和 3 中的所有符合条件的 index 对,列出的映射表,如表 1 和表 2 所示.此外,有些 index 的值不满足配对条件或者优先级较低,没有与之配对的 index,不能用于秘密

信息的嵌入,在表中没有列出.

表 1 根据码本 2 建立的映射表

index 对	码长	index 对	码长	index 对	码长	index 对	码长
0, 2	11	17, 71	10	57, 59	9	48, 50	7
6, 8	11	1, 7	9	73, 79	9	58, 76	7
18, 20	11	19, 25	9	4, 22	7	64, 70	7
24, 26	11	15, 69	9	10, 16	7	66, 68	7
54, 56	11	21, 23	9	12, 14	7	13, 67	5
60, 62	11	27, 29	9	28, 34	7	31, 49	5
72, 74	11	33, 35	9	30, 32	7	37, 43	5
78, 80	11	45, 47	9	36, 38	7	39, 41	5
3, 5	10	51, 53	9	42, 44	7		
9, 11	10	55, 61	9	46, 52	7		

表 2 根据码本 3 建立的映射表

index 对	码长	index 对	码长	index 对	码长	index 对	码长
0, 2	9	27, 45	8	73, 79	7	46, 52	6
6, 8	9	51, 53	8	4, 22	6	58, 76	6
24, 26	9	57, 59	8	10, 16	6	64, 70	6
54, 56	9	63, 69	8	12, 14	6	66, 68	6
72, 74	9	19, 25	7	28, 34	6	31, 49	5
78, 80	9	29, 47	7	30, 32	6	37, 43	5
3, 5	8	55, 61	7	36, 38	6	39, 41	5
21, 23	8	65, 71	7	42, 44	6		

根据映射表 1 和表 2,通过 index 对之间的替换实现秘密信息的嵌入,隐写的规则如下所示.

(1)如果当前的 index 的值不在表中,则该 index 不能用于嵌入信息,跳过该 index.

(2)如果当前的 index 的值位于表中 index 对的左边,也就是表中每一对 index 值中的较小数值,如果要嵌入的秘密信息比特为“0”,则该 index 保持不变,如果要嵌入的比特为“1”,则将该 index 替换成其 index 对右边的数值.

(3)如果当前的 index 的值位于表中 index 对的右边,也就是表中每一对 index 值中的较大数值,如果要嵌入的比特为“1”,则该 index 保持不变,如果要嵌入的比特为“0”,则将该 index 替换成其 index 对左边的数值.

3 嵌入与提取算法

嵌入算法首先对 AAC 编码进行比特流解包,读取码本等信息,并根据码本的信息搜索出小值区,然后对小值区的码字根据相应的码表进行解码,得到 index 的值,根据第 2 节的隐写规则将秘密信息

嵌入到 index 中, 再进行部分编码得到隐写后的 AAC 文件. 嵌入算法的框图如图 2 所示, 嵌入过程为:

(1) 在嵌入操作之前, 首先对原始秘密信息采用 Zlib 算法进行压缩以去除冗余, 并转换成由 $\{0, 1\}$ 组成的比特信息流 I, 然后将其通过给定的密钥 Key 进行加密得到加密后的秘密信息序列 M, 并对载体 AAC 文件进行比特流解包.

(2) 根据码本信息搜索到采用码本 2 和 3 进行编码的量化系数小值区的 Huffman 码字, 并进行解码, 得到对应的 index.

(3) 如果当前的 index 不在对应码本的映射表中, 则跳过该 index, 重新搜索小值区的下一个码字; 如果当前的 index 在对应码本的映射表中, 则按照隐写规则, 通过 index 对之间的替换实现秘密信息的嵌入, 修改后的 index 再通过 Huffman 编码来替换掉原来的码字.

(4) 重复以上 (2) ~ (3) 步, 直到秘密信息序列 M 结束或已搜索不到可用的嵌入码字为止.

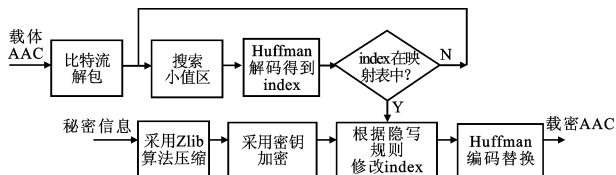


图 2 嵌入过程的框图

提取算法只需在隐写后的 AAC 文件中搜索出小值区的码字, 根据相应的码表解码得到 index, 判断 index 是否在映射表中以及在 index 对中的位置来读取嵌入的信息. 提取过程无需原始载体, 可以实现盲提取. 提取算法的框图如图 3 所示, 提取过程如下所示.

(1) 对载密 AAC 文件进行比特流解包.

(2) 根据码本信息搜索到采用码本 2 和 3 进行编码的量化系数小值区的 Huffman 码字, 并进行解码, 得到对应的 index.

(3) 如果当前的 index 不在对应码本的映射表中, 则跳过该 index, 重新搜索小值区的下一个码字; 如果当前的 index 在对应码本的映射表中, 则根据当前 index 在映射表中 index 对的位置来提取嵌入的比特, 如果位于 index 对的左边, 则嵌入的比特为“0”, 如果位于 index 对的右边, 则嵌入的比特为“1”.

(4) 重复以上 (2) ~ (3) 步, 直到搜索不到小值区的码字为止, 提取加密后的秘密信息序列 M, 再通

过密钥 Key 对 M 进行解密, 进一步经过解压缩得到原始的秘密信息.

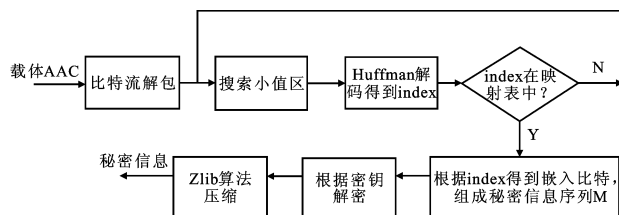


图 3 提取过程的框图

从上述算法可以看出, 无论是秘密信息的嵌入还是提取过程, 都只需要执行比特流解包, 搜索小值区和部分解码操作, 不需要经过滤波器组、量化和反量化等计算量复杂的过程, 因此降低了隐写算法的计算复杂度.

4 实验结果与分析

实验音频库中所有音频段格式为 WAV (采样频率 44.1 kHz, 长度 10 s, 编码精度 16 bit, 单声道), 包括古典、交响乐、摇滚、爵士和流行乐等多种类型, 将其压缩成不同比特率的 AAC 音频进行实验, 我们分别从嵌入容量、不可感知性和抗隐写分析性这三个方面来分析该 AAC 隐写方法的性能.

4.1 嵌入容量

在音频库中选取不同类型、不同比特率的 AAC 音频分别进行秘密信息的嵌入, 将嵌入秘密信息的总比特数除以帧数, 可以得到各种音频每帧平均嵌入的比特数, 见表 3 所示.

表 3 不同类型的 AAC 音频每帧平均嵌入的比特数

AAC 音频类型/比特率	64 kb/s	128 kb/s	192 kb/s
流行 (pop)	39.46	20.86	5.48
交响乐 (symphony)	38.41	21.83	2.65
摇滚 (rock)	51.79	11.65	1.87
爵士乐 (jazz)	45.21	26.14	1.86
古典 (classical)	38.77	25.72	9.97

从表 3 中可以看出, 对于不同类型的音频, 其每帧平均嵌入的比特数也有所差别. 对于同一类型的音频, 每帧平均嵌入的比特数随着比特率的增加而减少. 这是因为比特率的增加使得量化步长减少了, 从而使得位于小值区的量化系数减少了, 因此可嵌入的位置减少了, 嵌入的比特数也相应减少了.

对于高比特率的 AAC 编码, 其量化步长较小, 量化后的 MDCT 系数位于小值区的数目较少, 所以本文方法对于高比特率的 AAC 编码嵌入的比特数

较少,但是,为了便于网络传输,通常采用低比特率的 AAC 音频作为载体,因此本文方法适用于低比特率的 AAC 音频,能够满足实际的需要.我们在文献[9]中提出的基于 AAC 溢出序列的方法与本文方法正好相反,文献[9]中方法随着 AAC 音频比特率的增加嵌入的比特数也越来越多,适用于高比特率的 AAC 音频,因此在实际的隐写过程中应根据音频的比特率选择合适的隐写方法.

4.2 不可感知性

图 4 为音频库中某一段 AAC 音频隐写前后的时域波形对比图,从中可以看出,该隐写方法对时域波形的影响较小,在主观上不易被人耳所感知.

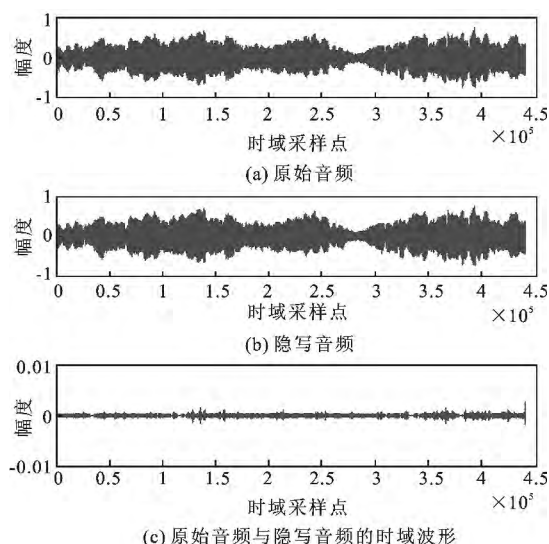


图 4 音频隐写前后时域波形对比图

上面是从音频隐写前后时域波形的对比来分析本文隐写方法对音频的影响,我们利用 PEAQ 模型^[12]得到的客观失真等级(ODG)作为隐写引起的失真的客观评价. ODG 的范围为 0~ -4, ODG 最高为 0,说明没有失真,随着 ODG 的降低,失真变大,当 ODG 为 -4 时,说明失真严重.对于表 3 中选取的不同比特率的各类音频计算其隐写后的 ODG,作为隐写的不可感知性的客观评价,其结果如表 4 所示.

表 4 不同比特率的各类音频的客观失真等级(ODG)

AAC 音频类型/比特率	64 kb/s	128 kb/s	192 kb/s
流行(pop)	-1.871 6	-0.107 3	-0.000 4
交响乐(symphony)	-2.247 5	-0.178 6	-0.000 4
摇滚(rock)	-2.148 8	-0.065 4	0
爵士乐(jazz)	-2.482 3	-0.199 1	-0.000 9
古典(classical)	-1.506 7	-0.132 6	-0.002 5

从表 4 可以看出,ODG 总体上较高.对于比特率 64 kb/s 的音频,存在着一定的失真,但在可接受范围之内.随着比特率的增加,音频失真随之减少,对于 192 kb/s 的音频,其 ODG 接近于 0,几乎没有失真.这是因为随着比特率的提高,使得量化系数小值区的数目减少了,平均每帧嵌入的比特数减少了,因此对小值区的量化系数的修改减少了,音频的失真就减少.

4.3 抗隐写分析性

本文隐写方法的基本思想是在保持编码长度不变的条件下,通过量化系数对的映射,每组至多修改一个小值区的量化系数来实现秘密信息的嵌入.由于本文隐写方法对 AAC 编码的长度没有任何改变,因此根据编码长度的变化进行隐写检测的方法^[13]对于本文的隐写方法行不通.

由于在隐写的过程中,通过量化系数对的映射,小值区的某一组量化系数中的一个系数发生了变化,或者由 -1 变成 1,或者由 1 变成 -1,因此,隐写前后 MDCT 量化系数的直方图可能有所变化,可以通过考察原始音频和隐写音频的 MDCT 量化系数直方图的距离来度量不可检测性,这里采用曼哈顿(Manhattan)距离来度量.

$$d_{\text{Manh}} = \sqrt{\sum_{i=1}^d |P_i - Q_i|} \quad (2)$$

式中, d 为直方图 bin 的数目, P 和 Q 分别为原始音频与隐写音频的 MDCT 量化系数直方图的概率密度函数,采用归一化的直方图.

对于比特率为 128 kb/s 和 192 kb/s 的各类音频,其直方图相似度度量结果见表 5,并将本文方法与其他两种方法进行了比较,其中方法 2 和方法 3 分别是文献[10]和文献[9]中的 AAC 隐写方法.

表 5 比特率为 128 kb/s 和 192 kb/s 的音频直方图

相似度度量结果 d_{Manh}				
比特率	音频类型	本文方法	方法 2	方法 3
128 kb/s	古典(classical)	0.027 286	0.159 03	0.058 826
	交响乐(symphony)	0.027 333	0.176 82	0.048 671
	摇滚(rock)	0.023 018	0.153 3	0.037 535
	爵士乐(jazz)	0.024 322	0.164 52	0.048 429
	流行(pop)	0.021 425	0.174 6	0.038 554
	古典(classical)	0.029 935	0.196 39	0.109 64
192 kb/s	交响乐(symphony)	0.003 909 1	0.172 13	0.100 12
	摇滚(rock)	0.019 472	0.153 3	0.089 836
	爵士乐(jazz)	0.025 72	0.130 18	0.109 72
	流行(pop)	0.026 326	0.159 8	0.087 043

从表 5 中可以看出,本文的 AAC 隐写方法比其他两种方法的 d_{Manh} 距离要小很多,这说明本文方法对 MDCT 量化系数直方图的修改较小,隐写前后具有较好的 MDCT 量化系数直方图相似度,能够抵抗常用的利用直方图分析的隐写检测方法.因此,本文方法具有较好的抗隐写分析性.

5 结束语

本文提出了一种基于 MDCT 系数小值区的 AAC 隐写方法.算法先对 AAC 载体进行比特流解包,读取有关信息,并通过码本信息搜索出小值区的码字,在保持编码长度不变的条件下,通过量化系数对的映射,每组至多修改一个量化系数来实现秘密信息的嵌入.该隐写方法对 AAC 编码的长度保持不变,可以实现秘密信息的盲提取,且算法复杂度较低.实验结果表明,本文方法在低比特率下具有较高的嵌入容量,适用于网络环境下的 AAC 音频的隐写传输;具有良好的不可感知性,且具有较好的抗隐写分析性,能够抵抗根据编码长度的变化进行隐写检测的方法以及常用的采用直方图分析的隐写检测方法.

参考文献:

- [1] Brandenburg K. MP3 and AAC explained[C]// AES 17th international conference on High-Quality Audio coding. Italy, Florence, 1999: 1-12.
- [2] Wang C T, Chen T S, Chao W H. A new audio watermarking based on modified discrete cosine transform of MPEG/audio layer III[C]// IEEE International Conference on Networking, Sensing and Contro. Taiwan, Taipei, 2004: 984-989.
- [3] Diqun Yan, Rangding Wang. Huffman table swapping-based steganography for MP3 audio[J]. Multimedia Tools and Applications, 2011, 52 (2/3): 291-305.
- [4] Yan Diqun, Wang Rangding, Yu Xianmin, et al. Steganography for MP3 audio by exploiting the rule of window switching[J]. Computers & Security (Elsevier), 2012, 31(6): 704-716.
- [5] Atoum M S, Al Rababaa M S, Ibrahim D S, et al. A steganography method based on hiding secrete data in MPEG/Audio layer III[J]. Journal of Computer Science, 2011, 11(5): 184-188.
- [6] Ryuki Tachibana. Two-dimensional audio watermark for MPEG AAC audio[C]// Electronic Imaging 2004, International Society for Optics and Photonics. San Jose, 2004: 139-150.
- [7] Neubauer C, Herre J. Audio watermarking of MPEG-2 AAC bitstreams [C] // 108th AES Convention. France, Pairs, Audio Engineering Society Preprint, 2000: 5101.
- [8] Cheng S, Yu H, Xiong Z. Enhanced spread spectrum watermarking of MPEG-2 AAC audio[C]// Proc. Of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). Orlando, Florida, 2002: 3728-3731.
- [9] Wang Yujie, Guo Li, Wei Yifang, et al. A steganography method for AAC audio based on escape sequences[C]// The Second International Conference on Multimedia Information Networking & Security. China, Nanjing, IEEE, 2010: 841-845.
- [10] 王昱洁, 郭立, 王翠平. 一种以 AAC 压缩音频为载体的隐写方法[J]. 小型微型计算机系统, 2011, 32(7): 1465-1468.
- [11] ISO/IEC 13818-7. Information technology-generic coding of moving pictures and associated audio information-Part 7: Advanced Audio Coding (AAC) [S]. Switzerland, Gereva, ISO/IEC JTC1/SC29 WG11, 1997.
- [12] ITU-R. Recommendation BS 1387-1 method for objective measurements of perceived audio quality [S]. Switzerland, Geneva, ITU-R, 2001.
- [13] Westfeld A. Detecting low embedding rates[C]// 5th International Workshop on Information Hiding. Berlin, Springer, Heidelberg, 2003: 329-342.

作者简介:

王昱洁 女, (1980-), 博士, 讲师. 研究方向为音频信号处理与音频信息隐藏. E-mail: wjiejie@hfut.edu.cn.

杨 萍 女, (1958-), 副教授. 研究方向为多媒体信息处理.

蒋薇薇 女, (1978-), 硕士, 讲师. 研究方向为多媒体信息处理