

基于功率倒谱统计特征的音频回声隐写分析方法

王昱洁, 郭立, 王翠平

(中国科学技术大学电子科学与技术系, 安徽合肥 230027)

摘要:提出了一种基于功率倒谱统计特征的音频回声隐写分析方法. 首先对音频信号进行分段和加窗, 然后对加窗后的音频信号段求平均功率倒谱, 利用回声隐藏信号的平均功率倒谱能够在回声延迟处产生峰值这一特点, 对平均功率倒谱求差分方差和平坦度作为统计特征, 采用支持向量机进行分类. 该隐写分析方法不仅能够对最基本的单回声核进行检测, 还适用于改进的回声核. 实验证明, 本方法的效果令人满意, 在衰减系数较低的情况下也能达到较高的分类准确率, 且无论嵌入段长如何, 都能较为准确地检测.

关键词:回声隐藏; 音频隐写分析; 回声核; 功率倒谱; 支持向量机

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.0253-2778.2010.10.012

An audio steganalysis method for echo hiding based on statistical features of power cepstrums

WANG Yujie, GUO Li, WANG Cuiping

(Department of Electronic Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

Abstract: An audio steganalysis method for echo hiding based on statistical features of power cepstrums was proposed. In this scheme, audio signals were first divided into little segments and a hanning window was applied to each segment, then average power cepstrums of the windowed audio segments were calculated, and based on the feature that the average power cepstrums of echo hiding signals can generate peaks at echo delays, variances of differences and flatness of the average power cepstrums were calculated as statistical features, and, finally, support vector machine (SVM) was implemented as a classifier. This steganalysis method can not only detect the basic single echo kernel, but also be applied to the improved echo kernels. Experimental results show that the performance of the proposed method is satisfactory, achieving high classification accuracy even with low attenuation coefficients and regardless of the length of the embedded segments of audio signals.

Key words: echo hiding; audio steganalysis; echo kernel; power cepstrum; support vector machine

0 引言

随着计算机与网络技术的蓬勃发展, 隐写术作

为网络环境中一种新的保密通信手段得到了日益广泛的关注和研究. 隐写术利用人类的感知冗余和数字媒体的统计冗余, 将秘密消息以一定的方式嵌入

公开的数字媒体中,从而隐藏了秘密消息的存在. 隐写分析与隐写术相反,其目的是检测秘密消息的存在以至破坏隐秘通信. 隐写分析技术有利于防止隐写术的非法应用,并对于安全的隐写算法设计具有直接的指导作用.

Bender 等^[1]于 1996 年最早提出了基于音频的回声隐藏技术. 回声隐藏就是在原始音频中加入人耳不可感知的回声,以达到信息隐藏的目的. 与其他的隐藏方法相比,回声隐藏具有以下优点^[2]: 隐藏算法简单;算法不产生噪声,隐藏效果好;对同步的要求不高;提取隐藏信息时不需要原始音频等. 但同时也存在着缺点:当回声幅度较小时,采用传统的倒谱分析检测法,回声在变换域的尖峰容易被淹没;而如果增大回声幅度,则隐藏效果又会降低. 针对这一问题,许多研究集中在回声核的改造上,并提出了不同的新的回声核,取得了一定的效果.

目前针对回声隐藏的隐写分析方法主要分为两类,一类是通用隐写分析方法,另一类是专用隐写分析方法. 通用隐写分析方法主要有:Ozer 等^[3]提出的基于音频质量测度的通用隐写分析方法,Altun 等^[4]根据随着嵌入次数的增加,每次嵌入引起失真逐渐减少的规则(DMD 规则),提出的基于形态学测度的隐写分析方法. 这两种隐写分析方法都对回声隐藏进行了实验,但检测率不是很高. 这是因为通用隐写分析方法一般是从隐写造成的音频失真的角度来考虑的,没有考虑到具体的回声隐藏算法和隐写参数,而不同的参数对于回声隐藏的隐写分析的难易程度有着重要的影响. 目前针对回声隐藏的专用隐写分析方法的研究还比较少. Zeng 等^[5]提出了一种基于能量倒谱与模式分类的回声隐写分析方法,将能量倒谱的峰值频率的统计距作为特征向量,并采用支持向量机(SVM)进行分类,检测率达到 85%及以上. 该方法需要统计峰值频率,计算比较复杂,且只对很少的隐写参数进行了实验. 杨渝等^[6]提出了一种基于回声隐藏的 VDSC 隐写分析算法,通过构造倒谱和差分方差统计量 VDSC 来反映隐写对自然语音音频的影响,从而判定该音频是否为回声隐藏音频,实验结果显示该算法的正确率为 88%. 这种方法需要不断的变换分段大小与偏置条件来设定阈值,阈值的大小对检测结果有很大的影响. 上述两种方法仅针对于 Bender 等提出的最基本的回声核,没有对其他的回声核进行实验.

本文提出了一种新的针对音频回声隐藏的专用

隐写分析方法,利用回声隐藏信号的平均功率倒谱能够在回声延迟处产生峰值这一特点,对平均功率倒谱求差分方差和平坦度作为统计特征,采用支持向量机进行分类. 实验证明,本方法能够达到较高的分类准确率,不仅能够对最基本的单回声核进行检测,还适用于改进的回声核.

1 回声隐藏原理

利用回声实现信息隐藏的算法是一种经典的音频信息隐藏方法. 它利用了人类听觉系统的时域掩蔽效应,即相距时间很短的音频信号(几十毫秒以内),弱信号会被强信号遮蔽,不能被人耳所感知^[7]. 因此,只要合理地选择引入回声的参数,附加的回声就很难被察觉.

1.1 回声隐藏的数学模型

Bender 等^[1]提出的回声核如图 1 所示.

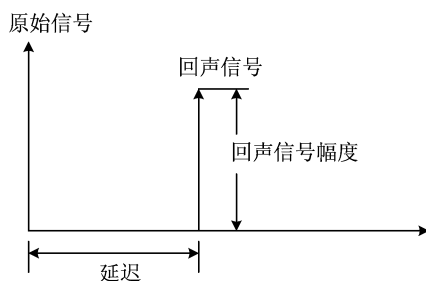


图 1 单回声核

Fig. 1 Single echo kernels

在原始音频中引入回声,其数学模型表示如下:

$$x(n) = s(n) + \alpha s(n-d) \quad (1)$$

式中, $x(n)$ 是加入回声后的音频信号; $s(n)$ 是原始音频信号; α 是回声相对于原始音频信号的衰减系数; d 为延迟参数. 嵌入回声后的音频信号 $x(n)$ 可表示为 $s(n)$ 和 $h(n)$ 的卷积:

$$x(n) = s(n) + \alpha s(n-d) = s(n) * h(n) \quad (2)$$

式中,

$$h(n) = \delta(n) + \alpha\delta(n-d) \quad (3)$$

称为回声核,回声信号由 $\alpha\delta(n-d)$ 引入到原始音频中去.

1.2 回声隐藏的方法

回声隐藏通过选择不同的延迟参数 d 来隐藏“0”和“1”,假设 $d=d_0$ 表示嵌入比特“0”, $d=d_1$ 表示嵌入比特“1”. 回声隐藏的方法如图 2 所示,先将原始音频信号分成若干个大小相同的数据段,每段用于隐藏 1 比特数据,为了实现在不同的数据段嵌

入不同的比特,需要用到信号混合器,如果某个分段要嵌入“0”,则对于该分段的所有样点,“0”混合器恒为 1,“1”混合器恒为 0,否则相反. 秘密信息的嵌入过程为:原始音频信号 $s(n)$ 与回声核 $h_0(n)$ 和 $h_1(n)$ 做卷积,其中 $h_0(n) = \delta(n) + \alpha\delta(n-d_0)$, $h_1(n) = \delta(n) + \alpha\delta(n-d_1)$, 分别得到原始信号与延迟分别为 d_0 和 d_1 的回声信号的叠加信号,再分别与“0”和“1”混合器相乘后做叠加,最后得到含有秘密信息的输出信号.

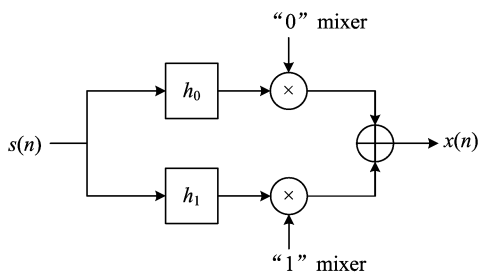


图 2 回声隐藏的方法

Fig. 2 Methods of echo hiding

1.3 回声隐藏的提取

接收端要进行秘密信息的提取就必须判定回声延迟. 由于每段含有秘密信息的音频信号都是原始音频信号与回声核的卷积,直接从时域或频域确定回声延迟存在一定的困难,可采用卷积同态滤波系统来处理,将这个卷积信号变成加性信号^[8]. Bender 采用倒谱分析的方法来确定回声延迟.

对于音频信号 $x(n)$,其复倒谱定义如下:

$$c_x(n) = F^{-1}[\ln(F(x(n)))] \quad (4)$$

式中, $F(\cdot)$ 为傅里叶变换, $F^{-1}(\cdot)$ 为傅里叶反变换. 于是,由式(2)可以得到加入回声后音频信号的复倒谱为

$$c_x(n) = F^{-1}[\ln(F(x(n)))] = F^{-1}[\ln(F(s(n)))] + F^{-1}[\ln(F(h(n)))] \quad (5)$$

式(5)可以看作分别计算 $s(n)$ 和 $h(n)$ 的复倒谱,然后求和,即 $c_x(n) = c_s(n) + c_h(n)$. 对 $h(n)$ 求复倒谱可以得到

$$c_h(n) = \alpha\delta(n-d) - \frac{\alpha^2}{2}\delta(n-2d) + \frac{\alpha^3}{3}\delta(n-3d) - \dots \quad (6)$$

则嵌入回声后音频信号的复倒谱为

$$c_x(n) = c_s(n) + c_h(n) = c_s(n) + \alpha\delta(n-d) - \frac{\alpha^2}{2}\delta(n-2d) + \frac{\alpha^3}{3}\delta(n-3d) - \dots \quad (7)$$

由式(7)可以看出, $c_h(n)$ 仅在 d 的整数倍处出现非零值,即加入回声后音频的复倒谱会在回声延迟处产生一个强度为 α 的峰,据此可以检测回声的延迟大小. 由于每段可能的回声延迟只有 2 个,因此只需比对 $c_x(n)$ 在 2 个回声延迟处的幅值大小就能提取出秘密信息.

1.4 其他的回声核

回声隐藏的一个公开问题是:如何在回声幅度较小的情况下,提高恢复率. 近年来大部分的研究集中在对回声核的改造上,提出了一些新的回声核,同时也出现了一些具有指导意义的新方法. 由于篇幅的原因,本文不再一一列举,只选取了两种具有代表性的回声核.

1.4.1 双极性回声核

Oh 等^[9]提出了基于双极性回声核的隐藏方法. 双极性回声核比前面单一回声核的频率响应在低频区域表现得更加平坦,能够有效地提高嵌入回声后的音频质量.

双极性回声核的数学表达式如下:

$$h(n) = \delta(n) + \alpha_1\delta(n-d_1) - \alpha_2\delta(n-d_2) \quad (8)$$

其示意图如图 3 所示. 式(8)中, α_1 和 α_2 分别表示回声 1 和回声 2 相对于原始音频信号的衰减系数; d_1 和 d_2 分别表示回声 1 和回声 2 的延迟.

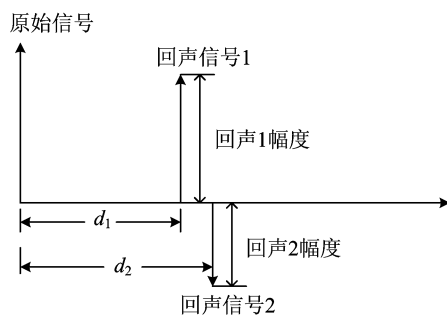


图 3 双极性回声核

Fig. 3 Positive and negative kernels

1.4.2 双向回声核

Kim 等^[10]提出了基于双向回声核的隐藏方法. 双向回声核由两个延迟相同,但是方向相反的回声核构成,分别称为前向核和后向核.

双向回声核的数学表达式如下:

$$h(n) = \delta(n) + \alpha\delta(n-d) + \alpha\delta(n+d) \quad (9)$$

式中, $\delta(n-d)$ 为后向回声, $\delta(n+d)$ 为前向回声,其示意图如图 4 所示.

对式(9)求复倒谱,可得

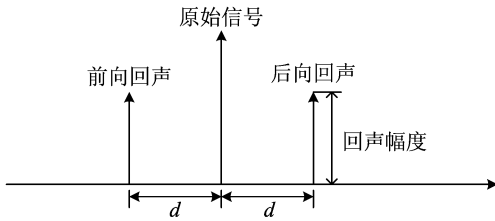


图 4 双向回声核

Fig. 4 Backward and forward kernels

$$c_h(n) = \alpha\{\delta(n-d) + \delta(n+d)\} - \frac{\alpha^2}{2}\{\delta(n-2d) + 2\delta(n) + \delta(n+2d)\} + \frac{\alpha^3}{3}\{\delta(n-3d) + 3\delta(n-d) + 3\delta(n+d) + \delta(n+3d)\} - \dots \quad (10)$$

从上式可以看出,在引入回声位置处的倒谱幅度由原来的 α 增强到 $\alpha + \alpha^3 + \alpha^5 + \dots = \alpha/(1 - \alpha^2)$, 峰值幅度的增加可以有效地提高秘密信息提取的正确率。

2 隐写分析方法

在回声隐藏中,秘密信息的提取需要知道部分的隐写参数,即音频信号的分段长度和嵌入比特“0”和“1”不同的延迟大小。但是在隐写分析中,我们事先并不知道任何的隐写参数,因此不能直接采用 1.3 节中的方法进行隐写分析,而是需要提取原始音频与隐写音频有明显区别的特征,然后利用这些特征来判断音频是否经过回声隐藏。

采用传统的复倒谱分析法来检测回声,要解决复对数多值问题,计算复杂。文献[11]中提出利用“功率倒谱”(power cepstrum)来检测回声位置,功率倒谱的计算公式如下:

$$E_{pc}(n) = (\text{IFFT}(\log |\text{FFT}(x(n))|^2))^2 \quad (11)$$

与传统的复倒谱分析方法相比,功率倒谱的计算相对简单,且在回声位置所对应的峰值更为明显,因此,本文采用功率倒谱来检测回声。

由于在隐写分析中,我们事先并不知道音频信号的分段长度,因此可以使用短窗来对音频信号进行分析。如果短窗位于音频信号的分段之内,由于短窗内信号的回声延迟与原始信号的回声延迟是一致的,因此同样可以在回声位置处产生峰值。而如果短窗位于音频信号的分段之间,有两种可能性:一种是这两段隐藏的信息不同,也就是两段的回声延迟不同,这样在两个回声位置都可以产生峰值;另一种是

这两段隐藏的信息相同,那么只在对应隐藏信息的回声延迟处产生峰值。短窗分析的示例如图 5 所示,图中音频信号的分段长度为 1 024,前一分段隐藏“1”,后一分段隐藏“0”,短窗的长度为 256,窗的类型为汉宁窗。为了保证回声隐藏的不可感知性,音频嵌入段一般大于 256,因此短窗长一般小于嵌入段长。假设隐藏“0”与隐藏“1”的回声延迟分别为 20 和 25,衰减系数 $\alpha = 0.7$,对回声隐藏前后的音频信号计算短窗内的功率倒谱见图 6 所示。(注:由于功率倒谱的头尾包含大量的音频本身的信息,其数值相对较大,因此为了能够在图中体现出回声延迟处的峰值,将前 6 个功率倒谱置为 0,又因为功率倒谱的计算具有对称性,图中只显示了短窗长度的一半。)



图 5 短窗分析的示例

Fig. 5 An example of analysis with short windows

图 6(a)显示了原始信号与隐写信号在短窗 1 内的功率倒谱,可以看出,隐写信号的功率倒谱在 25 的位置处有一峰值,恰好为隐藏“1”的回声延迟。图 6(b)显示了原始信号与隐写信号在短窗 2 内的功率倒谱,而短窗 2 位于两个分段之间,在两个回声位置都可以产生峰值,可以看出,隐写信号的功率倒谱在 20 和 25 的位置处各有一峰值。图 6(c)显示了原始信号与隐写信号在短窗 3 内的功率倒谱,可以看出,隐写信号的功率倒谱在 20 的位置处有一峰值,恰好为隐藏“0”的回声延迟。因此,不管短窗怎样滑动,隐写信号的功率倒谱在回声延迟处总会产生峰值,而原始信号的功率倒谱相对平坦,没有明显的峰值。如果将音频信号所有短窗内的功率倒谱取数学平均,那么隐写信号的平均功率倒谱在回声延迟处将会产生峰值,如图 7 所示,我们可以根据这一特性来进行隐写分析的特征提取。

2.1 隐写分析方法的系统框图

本文提出的隐写分析方法系统框图如图 8 所示,它主要包括两个部分。框图的上半部分是训练过程,将训练音频进行分段加窗,并对所有短窗内的功率倒谱取数学平均,然后对平均的功率倒谱进行特征提取,利用所提取的特征向量来对支持向量机进行训练。框图的下半部分是检测过程,将测试音频进

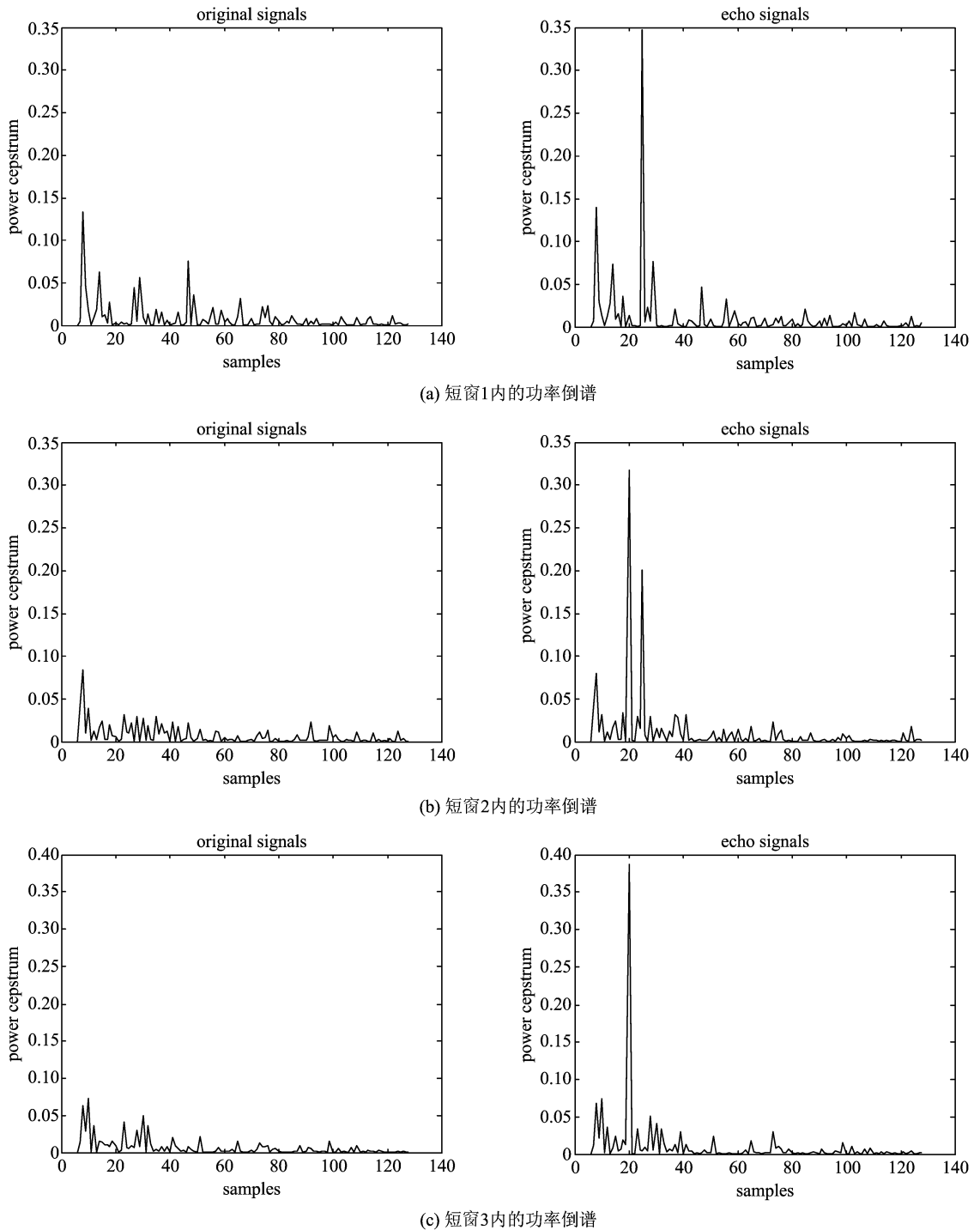


图 6 回声隐藏前后功率倒谱的对比

Fig. 6 Comparison of power cepstrums before and after echo hiding

行分段加窗,然后按照同样的方法进行特征提取,将所提取的特征向量送入已训练好的分类器中得到检测结果.

2.2 特征提取

2.2.1 统计特征的选择

从图 7 中可以明显看出隐写信号的平均功率倒

谱在回声延迟处产生的峰值,但是如果衰减系数 α 较小时,回声延迟处的峰值可能不如图 7 那样明显,因此需要提取原始音频与隐写音频有明显区别的特征.本文采用平均功率倒谱的差分方差作为统计特征.

假设信号为 $x(n), n=0, 1, \dots, N-1, x(n)$ 的

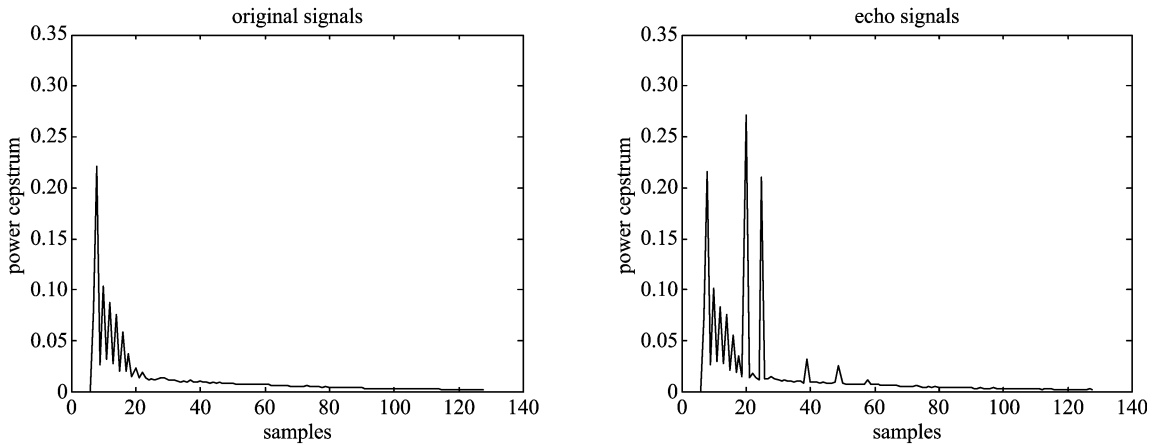


图 7 回声隐藏前后平均功率倒谱的对比

Fig. 7 Comparison of average power cepstrums before and after echo hiding

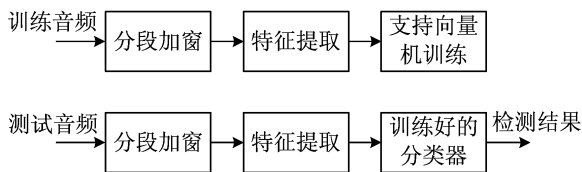


图 8 隐写分析方法的系统框图

Fig. 8 Block diagram of steganalysis methods

一阶差分定义为

$$\Delta x(n) = x(n+1) - x(n), n = 0, 1, \dots, N-2 \quad (12)$$

则 $x(n)$ 的二阶差分为

$$\begin{aligned} \Delta^2 x(n) &= \Delta(\Delta x(n)) = \\ \Delta(x(n+1) - x(n)) &= \Delta x(n+1) - \Delta x(n) = \\ x(n+2) - 2x(n+1) + x(n), \\ n &= 0, 1, \dots, N-3 \end{aligned} \quad (13)$$

同理, $x(n)$ 的三阶差分为

$$\begin{aligned} \Delta^3 x(n) &= x(n+3) - 3x(n+2) + \\ &3x(n+1) - x(n), \\ n &= 0, 1, \dots, N-4 \end{aligned} \quad (14)$$

以此类推.

差分对于检测信号的峰值具有很好的作用. 假设 $x(n+1)$ 存在着峰值, 从上述差分的定义式可以看出, 随着 $x(n+1)$ 的增大, $x(n)$ 的二阶差分的变化比一阶差分的大, 且随着差分阶数的增加而进一步增大. 因此, 信号如果存在峰值, 其差分数据的起伏较大, 采用差分数据的方差作为统计特征能够较好地反映出信号存在的峰值.

本文还引入了另外一个统计特征——平坦度来反映信号的峰值. 对于信号 $x(n)$, 平坦度的公式为

$$sfm = \frac{\left(\prod_{n=0}^{N-1} x(n)\right)^{1/N}}{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n)} \quad (15)$$

上式即为 $x(n)$ 的几何平均除以算数平均, 信号的起伏越小, 其平坦度越接近于 1. 由于原始信号的功率倒谱较隐写信号的平坦, 因此原始信号的功率倒谱的平坦度大于隐写信号.

2.2.2 特征提取的步骤

(I) 将音频信号进行分段和加窗, 分段长度为 256, 窗的类型为汉宁窗.

(II) 对加窗后的音频信号段求功率倒谱, 并将所有分段的功率倒谱进行叠加并除以分段总数得到平均功率倒谱, 为了减少音频信号本身对检测结果的影响, 去掉头尾各 6 个平均功率倒谱系数.

(III) 首先对平均功率倒谱求方差和平坦度, 然后对平均功率倒谱分别求 1 至 8 阶的差分方差, 这样一共得到 10 维的统计特征, 作为所提取的音频隐写分析的特征向量.

2.3 分类器的选择

提取了音频隐写分析的特征向量, 要检测音频是否被隐写, 实际上是一个分类问题, 即根据特征向量将音频分为原始音频和隐写音频两类. 而分类器的选择对分类结果有一定的影响, 本文选择基于核函数的支持向量机来对特征向量进行分类. 可根据实际情况选择不同类型的核函数, 这里采用的是常用的径向基核函数(RBF):

$$k(x, y) = \exp(-\gamma \|x - y\|^2) \quad (16)$$

式中, RBF 函数的 γ 和目标函数中的惩罚系数 C 由交叉验证的方法来确定.

3 实验结果与分析

实验音频库来自从网络上收集的 500 段 WAV 音频,包括流行歌曲、交响乐、民族音乐、电影片段等多种类型的音频.所有音频段的长度为 10 s,采样频率为 44.1 kHz,PCM 编码精度为 16 比特.

我们首先对最基本的回声核(见式(3),称之为核 1)进行实验.每次从音频库中随机取 300 段音频,按照上文所述的特征提取的步骤,提取特征向量,都标识为“-1”.然后利用核 1 对音频进行满容量的回声隐藏,嵌入段长可变(512, 1 024, 2 048, 4 096),衰减系数 α 分别取 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 和 0.7,嵌入“0”和“1”的延迟 d_0 和 d_1 可变(实验中选取了 3 种情况: d_0 和 d_1 分别是 21 和 23, 20 和 25, 30 和 40).再对回声隐藏后的音频提取特征向量,并标识为“+1”.这样一共得到 300 个标识为“-1”的原始音频 10 维的特征向量和 300 个标识为“+1”的隐写音频 10 维的特征向量.然后用这些特征向量采用 libsvm 工具^[12]进行训练得到分类器.余下的 200 段音频作为测试音频,按照同样的方法得到标识为“-1”和“+1”的特征向量各 200 个,用训练好的分类器进行测试,得到分类结果.对于不同衰减系数的回声隐藏的检测结果见表 1 所示,其中虚警率是把原始音频误判为隐写音频的概率,漏检率是把隐写音频误判为原始音频的概率,检测率是判断准确的概率.

表 1 基于核 1 的回声隐藏在不同衰减系数下的隐写分析准确率

衰减系数	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
漏检率	3%	0%	0%	0%	0%
虚警率	11%	5%	2%	0%	0%
检测率	86%	95%	98%	100%	100%

从表 1 中可以看出,本文的隐写分析方法对于基于核 1 的回声隐藏具有较高的检测率,即使衰减系数 α 低至 0.3,检测率也能达到 86%,且随着衰减系数的增大,检测率急剧上升,当衰减系数达到 0.6 及以上,检测率为 100%.虚警率比漏检率高,这是因为少数原始音频的平均功率倒谱可能存在着较大的峰值,被该方法检测到并误判为隐写音频.

图 9 给出了相同实验条件下本文的隐写分析方法与其他两种方法的检测率的比较.其中方法 2 采

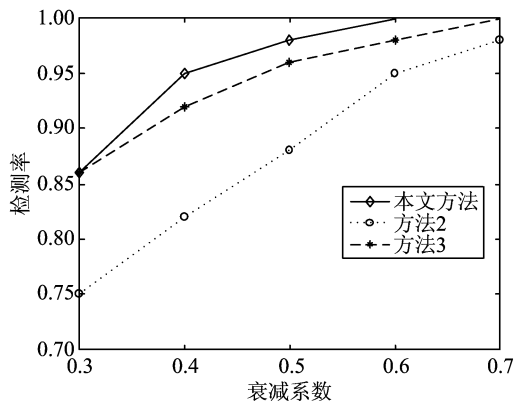


图 9 隐写分析方法的检测性能比较

Fig. 9 Comparison of detection performance of steganalysis methods

用复倒谱自相关的差分方差统计量作为统计特征,并采用 SVM 进行分类. Bender 等提出的采用复倒谱自相关(autocepstrums)来检测回声是一种常用的回声提取方法,复倒谱自相关的计算公式为^[1]

$$F^{-1}(\ln_{\text{complex}}(F(x))^2) \quad (17)$$

方法 3 采用文献[5]中的方法,将能量倒谱的峰值频率的 2 至 8 阶的中心距作为特征向量,并采用 SVM 分类.从图中可以看出,本文的隐写分析方法的检测率比方法 2 有显地提高,这是因为功率倒谱在回声位置所对应的峰值更为明显,检测率比方法 3 也略有提高.

我们还对 1.4 节提到的两种具有代表性的回声核(见式(8)和式(9),分别称为核 2 和核 3)进行了实验.在利用核 2 对音频进行回声隐藏时,衰减系数 α_1 分别取 0.3, 0.4, 0.5 和 0.6,对应的衰减系数 α_2 分别取 0.1, 0.2, 0.3 和 0.4,当嵌入“0”时,回声延迟 d_1 和 d_2 分别取 21 和 23,当嵌入“1”时,回声延迟 d_1 和 d_2 分别取 22 和 24.在利用核 3 对音频进行回声隐藏时,衰减系数 α 分别取 0.1, 0.2, 0.3 和 0.4,嵌入“0”和“1”的回声延迟分别为 21 和 23.按照核 1 实验同样的方法,得到基于核 2 和核 3 的回声隐藏在不同衰减系数下的隐写分析准确率,见表 2 所示.

从表 2 中可以看出,本方法对于基于核 2 和核 3 的回声隐藏也具有较高的检测率.对于核 2 的检测率和表 1 中对于核 1 的检测率差不多,是因为加入回声后音频的功率倒谱在回声延迟处产生的峰的强度差不多.而对于核 3 的检测率明显上升,当衰减系数 α 低至 0.2 时,检测率就能够达到 97%,当 α 为

表 2 基于核 2 和核 3 的回声隐藏在
不同衰减系数下的隐写分析准确率

Tab. 2 Accuracy of steganalysis of echo hiding
based on kernel 2 and kernel 3 under
different attenuation coefficients

回声核类型	衰减系数	漏检率	虚警率	检测率
核 2	0.3, 0.1	2%	13%	85%
	0.4, 0.2	0%	6%	94%
	0.5, 0.3	0%	3%	97%
	0.6, 0.4	0%	0%	100%
核 3	0.1	7%	15%	78%
	0.2	0%	3%	97%
	0.3	0%	0%	100%
	0.4	0%	0%	100%

0.3 及以上时,检测率达到 100%。这是因为采用核 3 进行回声隐藏时,在引入回声位置处的倒谱幅度明显增加,见式(10)所示,峰值幅度的增加可以有效地提高回声隐藏的检测率。

4 结论

本文提出了一种新的针对于音频回声隐藏的专用隐写分析方法,根据隐写信号的功率倒谱能够在回声延迟处产生峰值,而原始信号的功率倒谱相对平坦这一特点,选取了对峰值有较好检测作用的平均功率倒谱的差分方差和平坦度作为统计特征,并采用支持向量机进行分类。文中首先对最基本的单回声核进行了实验,实验中嵌入段长可变,在不同衰减系数下得到了隐写分析的准确率。实验证明,本方法的效果令人满意,分类准确率总体上比引言中提到的文献[5]和[6]的方法稍高,且算法实现相对简单,嵌入段长的变化对检测结果影响很小。文中还对两种具有代表性的改进的回声核——双极性回声核和双向回声核进行了实验,结果表明,本方法对基于改进回声核的音频回声隐藏的检测率也比较高,特别是对于双向回声核,在衰减系数较低的情况下也能达到很高的分类准确率。因此,本文提出的隐写分析方法不仅能够对最基本的单回声核进行检测,还适用于改进的回声核,且无论音频隐写的分段大小如何,都能较为准确地检测。

参考文献(References)

[1] Bender W, Gruhl D, Morimoto N, et al. Techniques for data hiding[J]. IBM Systems Journal, 1996, 35: 313-316.

[2] Tang Sheng, Hou Yuqing, Lu Yanqing, et al. Research development of echo hiding technology[J]. Audio Engineering, 2006(3):37-41.
唐升,侯榆青,卢艳玲,等.回声隐藏技术研究进展[J].电声技术,2006(3):37-41.

[3] Özer H, Avcibaş I, Sankur B, et al. Steganalysis of audio based on audio quality metrics[J]. Proceedings of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE), 2003, 5 020: 55-66.

[4] Altun O, Sharma G, Celik M, et al. Morphological steganalysis of audio signals and the principle of diminishing marginal distortions[C]// Proceedings of 2005 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing. Philadelphia, USA: IEEE, 2005: 21-24.

[5] Zeng Wei, Ai Haojun, Hu Ruimin. An algorithm of echo steganalysis based on power cepstrum and pattern classification [C]//Proceedings of the International Conference on Audio, Language and Image Processing. Shanghai, China: IEEE, 2008: 1 344-1 348.

[6] Yang Yu, Lei Min, Niu Xinxin, et al. VDSC steganalysis algorithm of echo hiding[J]. Journal on Communications, 2009, 30(2):83-88.
杨榆,雷敏,钮心忻,等.基于回声隐藏的 VDSC 隐写分析算法[J].通信学报,2009,30(2):83-88.

[7] Moore B C J. Masking in the human auditory system [C]// Collected Papers on Digital Audio Bit-Rate Reduction. New York: Audio Engineering Society, 1996: 9-19.

[8] 韩纪庆,冯涛,郑贵滨,等.音频信息处理技术[M].北京:清华大学出版社,2007:44-46.

[9] Oh H O, Kim H W, Seok J W, et al. Transparent and Robust audio watermarking with a new echo embedding technique [C]//IEEE International Conference on Multimedia and Expo. Tokyo, Japan: IEEE, 2001: 317-320.

[10] Kim H J, Choi Y H. A novel echo-hiding scheme with backward and forward kernels[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2003, 13: 885-889.

[11] YAN Bin, SUN Sheng he, LU Zheming. Improved echo hiding using power cepstrum and simulated annealing based synchronization technique [C]// Proceedings of 2003 International Conference on Machine Learning and Cybernetics. Xi'an, China: IEEE, 2003: 2 142-2 147.

[12] Chang C C, Lin C J. LIBSVM: A library for support vector machines[EB/OL]. [2007-11-20]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm>.