

基于脉冲位置参数统计特征的压缩域语音隐写分析

丁琦^{1,2} 平西建¹

(解放军信息工程大学信息工程学院 郑州 450002)¹ (解放军信息工程大学电子技术学院 郑州 450002)²

摘要 针对依合成分析法编码的压缩语音隐写,提出一种基于脉冲位置参数统计特征的隐写分析方法。以 G. 729 编码的压缩语音为例,分析了载体语音和载密语音脉冲位置直方图和 0、1 出现概率的不同特点,在此基础上提出直方图平坦度这一特征,并采用脉冲位置修正直方图的平坦度、特征函数质心和方差,以及将码流中 0 和 1 出现的概率差作为分类特征,用 SVM 分类器进行隐写分析。实验结果表明,该方法对于 G. 729 编码的压缩域语音隐写分析检测有较高的准确率。该方法也适用于其它使用依合成分析技术编码的压缩域语音隐写的分析。

关键词 隐写分析, 压缩域语音, 脉冲位置参数, 统计特征

中图分类号 TP391 文献标识码 A

Steganalysis of Compressed Speech Based on Statistics of Pulse Position Parameters

DING Qi^{1,2} PING Xi-jian¹

(School of Information Engineering, PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China)¹

(School of Electronic Technology, PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China)²

Abstract For analysis-by-synthesis (AbS) compressed speech a steganalysis method based on statistics of the pulse position parameters was proposed. Speech compressed by G. 729 coding algorithm was taken as an example to analyse the characteristic differences of the pulse position parameters of cover and stego speech, and a new feature, the histogram flatness was defined. In the steganalysis method, four statistics including histogram flatness, the center of mass of histogram characteristic function, histogram variance, and the probability difference of 0 and 1, were used as distinguishing features, and SVM classifiers were employed. Experiment results show the proposed algorithm has good performance for steganalysis of speech compressed by G. 729 algorithm. As to compressed speech coded by other AbS-based coders, the proposed method is also applicable.

Keywords Steganalysis, Compressed speech, Pulse position parameters, Statistics

数字隐写是一个新兴的研究领域。以图像、文本和音频作为载体的隐写已经有了很大发展,隐写工具也被广泛使用。相应地,针对各种隐写方法的隐写分析技术也得到了发展。

对于音频隐写的研究,最初主要集中在以 WAV, MP3 和 PCM 格式音频文件为载体方面。对于 WAV 和 PCM 音频格式,已提出最不重要位隐写、回声隐藏、扩频隐写以及变换域隐写等多种隐写算法,对 MP3 音频也已经有 MP3stego 等常用隐写软件和算法^[1]。针对以上这些音频隐写算法,也提出了多种通用和专用隐写分析算法^[2,3]。

在现代通信系统,例如 VOIP 和移动通信系统中,压缩语音占有较大的比重,而以依合成分析(Analysis-by-Synthesis, AbS)技术为基础的压缩编码是中低速率语音编码的主流。大多数传统的音频隐写方法对于此类压缩编码鲁棒性很差,而直接把信息嵌入压缩域语音的方法可以很好地解决这个问题。针对 G. 729, G. 723. 1, GSM 等 AbS 语音压缩编码方案,已经提出多种隐写方法^[4-6],可以在对解码语音质量损伤较少的条件下把秘密信息隐藏在编码比特流中。另一方面, Bao^[7]

等在对 G. 723. 1 编码参数冗余分析的基础上提出一种隐写分析方法,该方法对 G. 723. 1 编码帧的各比特位进行串行熵统计,由各参数列的熵值与原始熵的关系得到隐写分析的结果。但由于各列原始熵只能从其它认定为未隐藏数据的参数列熵值估计得到,不同数据各参数列间关系的差异容易导致原始熵估计的不准确,从而给判断结果带来不确定性。

AbS 语音压缩编码方法使用的各编码参数有不同的统计特性,因此本文考虑到编码参数固有的统计特性,分析隐写嵌入对参数统计特征的影响,相应地采用有针对性的隐写分析方法来提高隐写分析的有效性。本文以 G. 729 声码器为例,分析了隐写前后脉冲位置参数统计特征的变化,提出了一种基于脉冲位置参数统计特征的隐写分析方法。

1 脉冲位置参数统计特征的隐写分析原理

1.1 AbS 语音压缩编码基本原理

现代中低速率语音压缩编码方法中广泛采用 AbS 技术。这类语音编码方法的编码器和解码器基本结构分别如图 1 和

到稿日期:2010-03-09 返修日期:2010-06-09 本文受国家自然科学基金(60970142)资助。

丁琦(1976-),女,讲师,主要研究方向为语音处理、信息隐藏等, E-mail: gogodq@126.com; 平西建(1953-),男,教授,主要研究方向为信息隐藏、图像处理等。

图 2 所示。

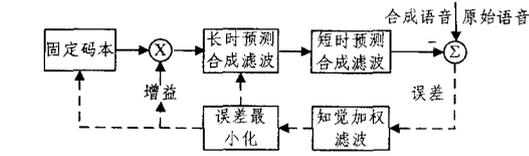


图 1 AbS 语音压缩方法的编码器基本结构图

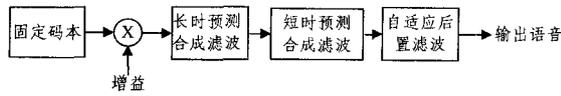


图 2 AbS 语音压缩方法的解码器基本结构图

图 1 和图 2 中的短时预测即线性预测,用来模拟语音信号的频谱包络。长时预测即基音周期预测,用来模拟语音的频谱精细结构。由图 2 可见,在解码器中,由固定码本产生激励矢量,经过长时预测合成滤波和短时预测合成滤波,重构出语音信号,然后通过后置滤波提高语音质量,得到最后的输出语音。比较图 1 和图 2 可以看出,在使用 AbS 语音压缩方法的编码器中,存在与解码器中相同的语音合成过程,这使编码器能够按照合成信号和原始信号之间知觉加权误差最小的准则搜索码本矢量,以得到最优的激励矢量。

1.2 AbS 压缩语音隐写方法

在采用 AbS 技术编码的压缩语音中隐藏信息的一种常用的方法是在每帧编码后的码字中选择对语音质量影响相对较小的比特位,然后将加密后的秘密信息嵌入这些比特位;引入矩阵编码等密写编码的方法^[1],则可以只改动很少的比特,传递较多的秘密信息。另外,有些隐写算法把隐写与压缩编码相结合,通过改变编码过程中的码本构造和码本搜索方式嵌入秘密信息,这种方法对通信系统的修改比较大。本文的讨论中只考虑使用前一种隐写方法嵌入的情况。

AbS 语音压缩编码方法中脉冲位置参数是固定码本的主要组成部分。在采用 AbS 技术的语音编码方案中,通常每帧有 30% 以上的比特用于脉冲位置参数的编码。例如在 GSM 全速率声码器^[8]中是 60.0%,在 G. 723. 1-6. 3kbps 模式^[9]中是 38.0%,在 G. 729 声码器^[10]中是 32.5%。但是根据参数比特重要性的分析和排序,脉冲位置参数相对来说并不很重要,修改该参数对合成语音质量的影响比较小^[4,5,8]。在语音编码后的比特流中隐藏信息时,脉冲位置参数常常会被用来嵌入秘密数据。所以,在 AbS 压缩语音隐写分析中,针对脉冲位置参数的信息隐藏检测是必要的。

1.3 基于脉冲位置参数统计特征的隐写分析原理

下面以 G. 729 为例介绍基于脉冲位置直方图特征的隐写分析原理。G. 729 是 ITU-T 公布的一个 8kb/s 语音编码标准,采用 AbS 技术编码,在 IP 电话、无线通信、数字卫星系统和数字专用线路等领域有广泛应用。

在 G. 729 编码算法中,输入语音是 8kHz 采样,16 比特线性量化。编码时每帧时长为 10ms,每帧分配 80 比特。其中固定码本采用交错单脉冲排列 (Interleaved Single-Pulse Permutation, ISPP) 设计的代数码本结构。每个码本矢量包含 4 个非零脉冲,每个脉冲可以依次选取表 1 中 m_0, m_1, m_2 和 m_3 其中的一个位置^[10]。每帧 (包括两个子帧) 的脉冲位置参数编码后分配 26 比特,每子帧 13 比特。这些比特位在整个编码帧中重要性相对较低,是比较理想的嵌入位置^[4]。每

个子帧的码字 C 编码方法如下:

表 1 固定码本结构

脉冲	符号	位置
i_0	$s_0: \pm 1$	$m_0: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35$
i_1	$s_1: \pm 1$	$m_1: 1, 6, 11, 16, 21, 26, 31, 36$
i_2	$s_2: \pm 1$	$m_2: 2, 7, 12, 17, 22, 27, 32, 37$
i_3	$s_3: \pm 1$	$m_3: 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33, 38$
		4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39

$$C = \left(\frac{m_0}{5}\right) + 8\left(\frac{m_1}{5}\right) + 64\left(\frac{m_2}{5}\right) + 512\left(\frac{m_3}{5}\right) + jx \quad (1)$$

式中, m_0, m_1, m_2 和 m_3 是选中的脉冲位置, jx 在 $m_3 = 3, 8, \dots, 38$ 时为 0, 在 $m_3 = 4, 9, \dots, 39$ 时为 1。

为了分析隐写对压缩语音脉冲位置参数的影响,首先对于作为载体的 G. 729 压缩语音比特流,提取出脉冲位置参数并解码,每帧得到 8 个脉冲位置。记载体信号的第 k 个脉冲位置为 pos_k 。表 1 中列出的 40 个脉冲位置在信号中出现的概率 (百分比),或者说归一化直方图记作

$$h_c(n) = p\{pos_k = n\}, n = 0, 1, \dots, 39 \quad (2)$$

为方便分析,把归一化直方图的 $h_c(5i+3)$ 和 $h_c(5i+4)$ 两两合并为 $h_c(4i+3)$, 而 $h_c(5i), h_c(5i+1)$ 和 $h_c(5i+2)$ 则变为 $h_c(4i), h_c(4i+1)$ 和 $h_c(4i+2), (i=0, 1, \dots, 7)$, 这样就得到修正直方图 $h'_c(n), (n=0, 1, \dots, 31)$ 。类似地,可以得到载密语音的修正直方图 $h'_s(n)$ 。

由表 1 和式 (1) 可知,每子帧 m_0, m_1 和 m_2 在编码后各占 3 个比特位,在这些比特位嵌入 1 比特可能引起解码后的脉冲位置变化分别为 $\pm 5, \pm 10, \pm 20$ 。 m_3 编码后占 4 个比特位,其中 jx 占 1 个比特位,隐写嵌入可能引起解码后的脉冲位置变化为 ± 1 ,另 3 个比特位中嵌入 1 比特可能引起解码后的脉冲位置变化为 $\pm 5, \pm 10, \pm 20$ 。

假设每帧 26 比特的脉冲位置参数中嵌入 l 比特,嵌入的信息经过加密具有伪随机性,嵌入位置随机分布,且与嵌入位置原始值无关。令 $\rho = l/26$, 则任一比特位被选作嵌入位置的概率为 ρ , 而对选定的比特位来说,嵌入使该比特值改变的概率为 $1/2$; 因此隐写嵌入后任一比特位比特值不改变的概率为 $(1-\rho/2)$ 。载密信号的归一化直方图为

$$h_s(n) = \left(1 - \frac{\rho}{2}\right) h_c(n) + \sum_{m=1,5,10,20} \alpha_m [h_c(n+m) + h_c(n-m)] \quad (3)$$

式中, $n=0, 1, \dots, 39$ 。当 $m=1$ 时式 (1) 中的 jx 作为嵌入位置, 概率为 $1/13$, 因而 $\alpha_m = (\rho/2) \cdot (1/2) \cdot (1/13) = \rho/52$; 而当 m 为其它值时, $\alpha_m = (\rho/2) \cdot (1/2) \cdot (4/13) = \rho/13$ 。若 $n+m > 39$, 则说明嵌入位置原始比特值为 1, 改变该比特值只能使相应的脉冲位置减少 m , 因而令 $h_c(n+m) = h_c(n-m)$; 反之若 $n-m < 0$, 则令 $h_c(n-m) = h_c(n+m)$ 。

而在修正直方图中, 由于 $h_c(5i+3)$ 和 $h_c(5i+4)$ 合并为 $h_c(4i+3)$, 式 (3) 中 $m=1$ 的情况变成了 $m=0$, 因此

$$\begin{aligned} h'_s(n) &= \left(1 - \frac{\rho}{2}\right) h'_c(n) + 2 \cdot \frac{\rho}{52} h'_c(n) + \frac{\rho}{13} \sum_{m=4,8,16} [h'_c(n+m) + h'_c(n-m)] \\ &= \left(1 - \frac{6\rho}{13}\right) h'_c(n) + \frac{\rho}{13} \sum_{m=4,8,16} [h'_c(n+m) + h'_c(n-m)] \end{aligned} \quad (4)$$

式中, $n=0, 1, \dots, 31$ 。若 $n+m > 31$, 则令 $h_c(n+m) = h_c(n-$

m);反之若 $n-m < 0$, 则令 $h_c(n-m) = h_c(n+m)$ 。式(4)也可以写作

$$h_c'(n) = h_c'(n) * h_{\Delta}(n) \quad (5)$$

$$h_{\Delta}(n) = (1 - \frac{6\rho}{13})\delta(n) + \frac{\rho}{13} \sum_{m=4,8,16} [\delta(n+m) + \delta(n-m)] \quad (6)$$

式中, $n=0, 1, \dots, 31$ 。若 $n+m > 31$, 则令 $\delta(n+m) = \delta(n-m)$;反之若 $n-m < 0$, 则令 $\delta(n-m) = \delta(n+m)$ 。对于 $h_{\Delta}(n)$ 的 N 维离散傅里叶变换 $H_{\Delta}[k]$, 可得

$$|H_{\Delta}(k)| = |(1 - \frac{6\rho}{13}) + \frac{\rho}{13} \sum_{m=4,8,16} (e^{jmk} + e^{-jmk})| \leq 1 \quad (7)$$

式中, $N=32, k=0, 1, \dots, 31$ 。隐写嵌入对于脉冲位置的修正直方图有低通滤波的效果, 因而载密语音的修正直方图会比载体信号更平滑。图3是一段载体语音信号的脉冲位置修正直方图。图4所示是该信号每帧的脉冲位置参数嵌入13比特(嵌入率仅对脉冲位置参数是50%, 对整个信号而言约为16.3%)信息后的载密信号的脉冲位置修正直方图。

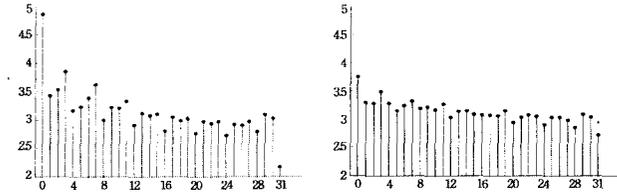


图3 载体信号的脉冲位置修正直方图 图4 载密信号的脉冲位置修正直方图

由图3可见, 语音信号的脉冲位置修正直方图是不平坦的, 其中第1个脉冲位置出现的概率特别高。这是由于在使用AbS技术的语音编码算法中, 固定码本搜索方法会造成脉冲位置不平滑地分布, 而前面的脉冲位置比其它位置更重要, 被选中的概率也更大。隐写嵌入使脉冲位置的分布更为随机, 所以载密信号的脉冲位置修正直方图会变得更平滑, 这从图3和图4的比较也可以看出来。

实验发现, 对于不同的载体信号, 虽然隐写嵌入对脉冲位置修正直方图的影响不尽相同, 但只要语音信号具有相当的长度(建议在1min以上, 以保证直方图特征的可靠性), 隐写使脉冲位置修正直方图变得更平滑的趋势是相似的, 因此可以通过脉冲位置的直方图特征进行隐写分析。

另外, 由于在语音压缩编码过程中前面的那些脉冲位置被选中的概率更大, 那么由式(1)中脉冲位置参数的码字编码方法可知, 对于载体语音, 脉冲位置参数的码流中0出现的概率会大于1出现的概率。对于载密语音, 隐写嵌入使0、1分布更加随机, 因而0和1出现概率的差别会随着嵌入率的增加而变得越来越不明显。对多段语音的测试也验证了这一点。所以, 在隐写分析时还可以考虑码流中0和1的概率分布特征。

2 隐写特征提取与检测方法

2.1 隐写分析分类特征

2.1.1 直方图平坦度

如本文1.3节所述, 隐写对修正直方图的平滑效应会使载密语音的脉冲位置修正直方图比载体语音平坦。据此本文提出直方图平坦度这一特征, 以区分载体和载密信号直方图

的不同特性。直方图平坦度定义为脉冲位置修正直方图一阶差分绝对值的和, 即

$$FLT = \sum_{n=0}^{30} |h'(n+1) - h'(n)| \quad (8)$$

由式(4)可得

$$\begin{aligned} FLT_s &= \sum_{n=0}^{30} |h_s'(n+1) - h_s'(n)| \\ &= \sum_{n=0}^{30} |h_s'(n) * [\delta(n+1) - \delta(n)]| \\ &= \sum_{n=0}^{30} |h_c'(n) * h_{\Delta}(n) * [\delta(n+1) - \delta(n)]| \\ &= \sum_{n=0}^{30} |[h_c'(n+1) - h_c'(n)] * h_{\Delta}(n)| \end{aligned} \quad (9)$$

卷积展开后可得

$$\begin{aligned} FLT_s &= \sum_{n=0}^{30} \sum_{i=0}^{30} |[h_c'(i+1) - h_c'(i)] h_{\Delta}(n-i)| \\ &\leq \sum_{n=0}^{30} \sum_{i=0}^{30} |[h_c'(i+1) - h_c'(i)] h_{\Delta}(n-i)| \\ &\leq \sum_{n=0}^{30} \sum_{i=0}^{30} |h_c'(i+1) - h_c'(i)| \cdot |h_{\Delta}(n-i)| \\ &= \sum_{i=0}^{30} [|h_c'(i+1) - h_c'(i)| \sum_{n=0}^{30} |h_{\Delta}(n-i)|] \end{aligned} \quad (10)$$

由式(6)可知 $\sum_{n=0}^{30} |h_{\Delta}(n)| \leq 1$, 所以

$$FLT_s \leq \sum_{i=0}^{30} |h_c'(i+1) - h_c'(i)| = FLT_c \quad (11)$$

由于脉冲位置修正直方图中前面的位置值比较大, 因而 $h_c'(i+1) - h_c'(i)$ 在 $i=0, 1, \dots, 31$ 范围内必然有负值, 式(10)和式(11)中的不等号在实际中为小于号。也就是说, 载密语音的脉冲位置修正直方图平坦度必然比载体语音小。

2.1.2 直方图特征函数质心 (the Center Of Mass of Histogram Characteristic Function, HCF COM)

Harmsen^[11]和Ker^[12]等把HCF COM用作彩色图像和灰度图像的LSB匹配隐写分析, 得到了较好的检测效果。他们认为载密图像可看作载体图像与加性噪声之和, 载密图像的直方图 $h_s(n)$ 是载体图像直方图 $h_c(n)$ 和噪声概率分布函数 $f_{\Delta}(n)$ 的卷积, 即

$$h_s(n) = h_c(n) * f_{\Delta}(n) \quad (12)$$

对于LSB替换或者LSB匹配嵌入, 均有

$$f_{\Delta}(0) = 0.5, f_{\Delta}(\pm 1) = 0.25 \quad (13)$$

从式(12)、式(13)与式(5)、式(6)的比较可以看出, 在语音编码后的脉冲位置参数中隐写嵌入给载体语音的脉冲位置带来的影响, 虽然远比直接LSB替换或者LSB匹配嵌入给载体图像带来的影响复杂, 但两者具有相似的模式, 都可以采用类似的分析方法。因此, 本文把HCF COM引入到AbS压缩语音的隐写分析中来。

设 $H_c[k], H_s[k]$ 分别为 $h_c'(n), h_s'(n)$ 的 N 维离散傅里叶变换 ($N=32$), 则

$$H_s[k] = H_c[k] H_{\Delta}[k] \quad (14)$$

$H_c[k]$ 和 $H_s[k]$ 分别是载体语音和载密语音的脉冲位置修正直方图特征函数 (Histogram Characteristic Function, HCF)。

由式(7)可知 $H_{\Delta}[k]$ 总不大于1, 所以

$$|H_s[k]| \leq |H_c[k]| \quad (15)$$

HCF COM 的定义为

$$C(H[k]) = \frac{\sum_{i=0}^{N/2} i |H[i]|}{\sum_{i=0}^{N/2} |H[i]|} \quad (16)$$

则隐写嵌入后,

$$C(H_s[k]) < C(H_c[k]) \quad (17)$$

即载密语音的脉冲位置修正直方图的 HCF COM 比载体语音要小。因而,可以使用 HCF COM 作为隐写分析判别的一个依据。

2.1.3 直方图方差

正如本文 1.3 节中的分析,隐写后载密语音脉冲位置修正直方图相对载体语音变得更平滑,因而直方图方差也必然更小,所以我们取直方图方差作为第 3 种分类特征。

$$V = \frac{1}{31} \sum_{n=0}^{31} \left(h'(n) - \frac{1}{32} \sum_{n=0}^{31} h'(n) \right)^2 \quad (18)$$

2.1.4 码流中 0 和 1 出现的概率差

假设一段语音压缩编码后脉冲位置参数码流中的 0 出现的概率为 P_0 , 1 出现的概率为 P_1 。由于隐写嵌入会使 P_0 和 P_1 的差别变得不那么明显,因而可以用 P_0 和 P_1 的差作为分类特征。

$$P_d = P_0 - P_1 \quad (19)$$

显然,载密语音的 P_d 应小于载体语音。

2.2 分类器

支持向量机在两类分类问题上非常有用,对于隐写分析来说非线性 SVM 分类器常常能得到较好的效果。本文使用 Chang Chih-Chung 和 Lin Chih-Jen 开发的 libsvm SVM 工具^[13],参数设置选用 libsvm 的全部缺省设置,其中分类器的核函数采用径向基函数(Radial Basis Function, RBF)。

3 实验结果

实验语音数据来自“863”语音识别语料库。实验中使用了 150 个说话人(75 男 75 女)的语音数据。从每个说话人数据中取 4 段语音,共 600 段,每段约 3.3min,作为载体信号。所有数据采样率由原来的 16kHz 采样降至 8kHz。数据采用 16 比特线性编码。对每段语音用 G. 729 编码器编码,然后依次分别在编码后的每帧脉冲位置参数中嵌入 1~13 比特秘密信息,得到载密信号;其中嵌入位置随机分布,嵌入的秘密信息是经加密得到的伪随机序列。

首先随机选取 100 段载体语音,然后取与之对应的嵌入量为每帧 6 比特的 100 段载密语音。用前述 3 种直方图特征组成一个矢量空间。图 5 中显示的是这 100 段载体语音和 100 段载密语音直方图特征矢量的空间分布,其中红色星形表示载体语音特征矢量,蓝色圆圈表示载密语音特征矢量。

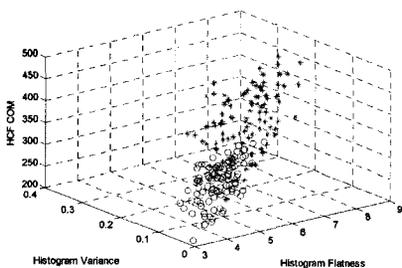


图 5 载体和载密语音的直方图特征矢量分布图

从图 5 可以看出,这 3 种直方图特征构成的特征矢量可以把载体和载密语音很好地分开,因而把这些直方图特征作为隐写分析的分类特征是有效的。再加上码流中 0 和 1 出现的概率差这一特征,可以进一步提高检测的准确率。

对 600 段载体信号和相应的不同嵌入量的载密信号分别提取脉冲位置修正直方图的平坦度、HCF COM 以及方差、码

流中 0 和 1 出现的概率差这 4 种分类特征,把得到的特征矢量用作 SVM 分类器的训练和测试。其中一半数据用来训练,另一半数据用来测试。

在嵌入量为每帧 1~13 比特时,本文算法隐写分析检测准确率如图 6 所示。图 7 中显示的是嵌入量分别为每帧 3, 6, 9 比特情况下的接受者操作特征(Receiver Operating Characteristics, ROC)曲线,其中从上到下的 3 条曲线依次表示每帧嵌入 9, 6, 3 比特时的 ROC 曲线。而曲线下面积(Area Under the Curve, AUC)在每帧嵌入 9 比特时是 0.99, 每帧嵌入 6 比特时是 0.95, 每帧嵌入 3 比特时是 0.79。

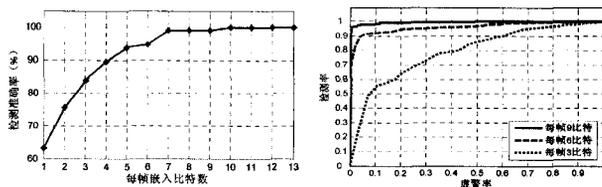


图 6 嵌入量为每帧 1~13 比特时的检测准确率 图 7 嵌入量为每帧 3, 6, 9 比特时的 ROC 曲线

由图 6 可知,当每帧嵌入 4 比特时,检测准确率近 90%;当每帧嵌入 5 比特以上时,检测准确率均大于 90%,算法具有比较高的准确率。而图 7 的 ROC 曲线也说明,本文方法对于 G. 729 压缩域语音隐写分析有较好的性能。

结束语 对于使用 AbS 技术的压缩语音,脉冲位置参数比较适合用来嵌入秘密信息,所以在隐写分析时应特别考虑对这个参数的检测。本文以 G. 729 语音编码算法为例,分析了信息嵌入对脉冲位置参数统计特征的影响,并在此基础上提出了一种用于压缩域语音的隐写分析方法。该方法使用直方图平坦度、直方图特征函数质心和直方图方差 3 种直方图特征,以及码流中 0 和 1 出现的概率差作为分类特征,用 SVM 分类器区分载体信号和载密信号。实验表明,该方法对于 G. 729 压缩语音信息隐藏检测有较好的效果。对于其它使用依合成分析技术编码的压缩域语音隐写分析,由于本文 1.3 节中所述原理仍然成立,本文方法也同样适用。

参考文献

- [1] 王朔中,张新鹏,张开文. 数字密写和密写分析——互联网时代的信息战技术(第 1 版)[M]. 北京:清华大学出版社,2005:123-169
- [2] Johnson M K, Lyu S, et al. Steganalysis of Recorded Speech [C]// SPIE Symposium on Electronic Imaging. San Jose, CA, 2005: 664-672
- [3] Gao Y C, Li X L, et al. Detecting LSB Matching by Characterizing the Amplitude of Histogram [C]// IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing. 2009: 1505-1508
- [4] Wu Z J, Yang W. Speech Information Hiding in G. 729 [J]. Chinese Journal of Electronics, 2006, 15(3): 545-549
- [5] 游鹏,李晓勇,卢鹏. 对 G. 723. 1 高码率编码语音中进行压缩域信息隐藏的性能分析 [J]. 计算机科学, 2008, 35(5): 194-197
- [6] Hu L C, Wang S Z. Information Hiding Based on GSM Full Rate Speech Coding [C]// International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing. Wuhan, China, Sept. 2006: 1-4

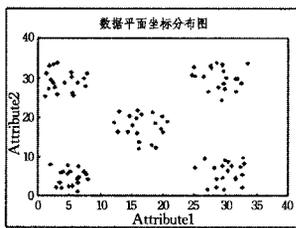


图1 数据平面坐标分布图

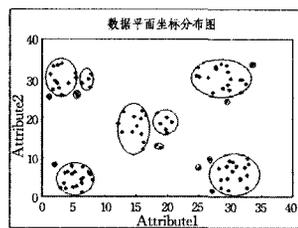


图2 初始聚类结果

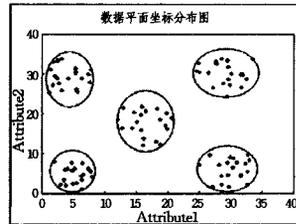


图3 稳定后的聚类结果

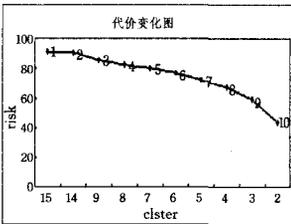


图4 代价变化曲线图

实验2 为了验证算法的有效性,我们还选用了UCI^[11]机器学习数据库中的3个数据集:Iris, Wine 以及 Letter 里随机选取的部分数据。Letter 数据集总共有26个类,这里分别选取了一些类别进行实验。Letter1 中选了A, C两个类; Letter2 选了A, C, D 3个类; Letter3 选了A, I, L, M, W, Y 6个类; Letter4 选了A, I, L, M, W, Y, O 7个类; Letter5 则选用了A, I, L, M, W, Y, O, E 8个类。其中,运行时间单位是秒。实验相关结果如表1所列。

表1 算法准确率和运行时间

数据集	对象个数	属性个数	类别数	准确率	时间(s)
Iris	150	4	3	70%	0.41
Wine	178	13	3	68%	0.5
Letter 1	680	16	2	98%	31
Letter 2	580	16	3	99%	30
Letter 3	101	16	6	87%	0.25
Letter 4	116	16	7	85%	0.30
Letter 5	131	16	8	79%	0.35

AKOC-DTRS算法具有以下特点:不需要设定任何的阈值,避免了人为干扰;算法收敛速度较快,运行时间相对较短;在不考虑类与类有交叉的情况下准确率很高。在下一步的工作中,我们还需要考虑孤立点对聚类结果的影响、考虑类类间的重叠交叉现象以及研究代价值对聚类结果选取的潜在意义等。

结束语 目前,大部分聚类方法都需要人为设置阈值。因此,本文从面向知识的聚类框架出发,基于决策粗糙集理论研究了自动聚类方法。为了确定初始聚类,提出了差值排序法来自动获取初始分类阈值。此外,本文采用基于决策粗糙

集理论模型的聚类评估方法,考虑了一种特定的损失函数,估计聚类模式的代价并以此来指导选择算法的终止点。实验结果表明,本文算法是有效的。为了更好地指导聚类数目的选择,如何改进评估方法并形式化,将是我们下一步的工作。

参考文献

- [1] Asharaf S, Murty M N. An adaptive rough fuzzy single pass algorithm for clustering large data sets[J]. Pattern Recognition, 2003(36):3015-3018
- [2] Bean C, Kambhampati C. Knowledge-Based Clustering: A Semi-Autonomous Algorithm Using Local and Global Data Properties [J]. IEEE International Joint Conference on Neural Networks, 2004, 11(3):95-100
- [3] Bean C, Kambhampati C. Autonomous clustering Using Rough Set Theory[J]. International Journal of Automation and Computing, 2008, 5(1):90-102
- [4] Halkidi M, Batistakis Y, Vazirgianni M. Clustering Validity Checking Methods: Part II[J]. ACM SIGMOD Conf. Record, 2002, 31(3):19-27
- [5] Hirano S, Tsumoto S A. Knowledge-oriented Clustering Technique Based on Rough Sets[C]//Proceedings of 25th IEEE International Conference on Computer and Software Applications. Chicago, USA, 2001:632-637
- [6] Lingras P, Chen M, Miao D Q. Rough Cluster Quality Index Based on Decision Theory[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2009, 21(7):1014-1026
- [7] 殷钢, 苗夺谦, 段其国. 一种新的粗糙 Leader 聚类算法[J]. 计算机科学, 2009, 36(5):203-205
- [8] Pawlak Z. Rough sets[J]. International Journal of Computer and Information Sciences, 1982(11):341-356
- [9] 郑吉, 苗夺谦, 王睿智, 等. 一种基于粗糙集理论的谱聚类算法[J]. 计算机科学, 2009, 36(5):193-196
- [10] Serban G, Campan A. Hierarchical Adaptive Clustering[J]. Informatica, 2008, 19(1):101-112
- [11] UCIrvine Machine Learning Repository[EB/OL]. <http://archive.ics.uci.edu/ml/>
- [12] Yao Y Y. Decision-theoretic Rough Set Models[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2007, 4481:1-12
- [13] Yu H, Luo H. A Novel Possibilistic Fuzzy Leader Clustering Algorithm[C]//Sakai H, et al., eds. RSFDGrC 2009. LNAI, 5908:423-430
- [14] 孙吉贵, 刘杰, 赵连宇. 聚类算法研究[J]. 软件学报, 2008, 19(1):48-61
- [15] 赵文清, 朱永利, 高伟. 一个基于决策粗糙集理论的信息过滤模型[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(7):185-187

(上接第220页)

- [7] Bao C L, Huang Y F, et al. Steganalysis of compressed speech [C]// Multiconference on Computational Engineering in Systems Applications. Beijing, China, Oct. 2006, 1:5-10
- [8] ETSI GSM 06. 10 version 8. 0. 1-1999, Digital Cellular Telecommunications System(Phase 2+). Full Rate Speech, Transcoding [S]. 1999
- [9] ITU-T Recommendation G. 723. 1: Dual Rate Speech Coder for Multimedia Communications Transmitting at 5. 3 and 6. 3 kbit/s [S]. 1996
- [10] ITU-T Recommendation. G. 729 Coding of Speech at 8kbit/s U-

sing Conjugate Structure Algebraic-Code-Excited Linear-Prediction(CS-ACELP) Speech Codec [S]. 1996

- [11] Harmsen J, Pearlman W. Steganalysis of Additive-noise Modelable Information Hiding [C]// Proc. SPIE, Security Watermarking Multimedia Contents. 2003, 5020:131-142
- [12] Ker A D. Steganalysis of LSB matching in grayscale images [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2005, 12(6):441-444
- [13] Chang C C, Lin C J. LIBSVM-A Library for Support Vector Machines[EB/OL]. <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm/>, 2009-04