

文章编号:1004-9037(2013)05-0650-08

# 心音检测识别技术在汽车主动安全中的应用

马 勇<sup>1</sup> 成谢锋<sup>2</sup>

(1. 南京理工大学计算机学院, 南京, 210094; 2. 南京邮电大学电子科学与工程学院, 南京, 210003)

**摘要:**提出了一种基于心音特征分析的汽车主动安全技术,探讨利用心音信号对驾驶员现场健康状况进行监测的可行性和具体实施方法。首先分析了心音信号与汽车背景噪声的特点,提出了汽车环境中的心音信号模型,据此设计出一种汽车主动安全的汽车心音采集装置,然后给出了一种基于独立子波函数的心音信号分类识别方法。讨论了心音独立子波函数的构成准则,获取心音独立子波函数的算法,以及如何将心音独立子波函数作为一种新的统计特征参数,并且给出了一种心音确定度的新概念。最后通过一个实际的心音采集与分类识别实验,验证了本文方法的有效性和可行性。

**关键词:**汽车主动安全;心音检测识别;独立子波函数;心音信号确定度

中图分类号:U491.6

文献标志码:A

## Application of Heart Sound Acquisition and Identification Technology to Vehicle Initiative Safety

Ma Yong<sup>1</sup>, Cheng Xiefeng<sup>2</sup>

(1. School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, China, 210094; 2. College of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, 210003)

**Abstract:** It is presented that a novel method for the vehicle initiative safety based on the characteristics analysis of heart sound, as well as the feasibility and implementation of using the heart sound signal to monitor the driver's health condition. The characteristics between heart sound signal and vehicle background noise are firstly analyzed. Then the model of the heart sound in internal vehicle environment is proposed. According to the model, an acquisition device is designed. Subsequently, the heart sound classification and identification method based on independent sub-band function is discussed, especially the rules and algorithms of independent sub-band function construction, and how to make independent sub-band function as a new statistics characteristic parameter. Finally, efficiency and feasibility are verified through the heart sound acquisition, separation and identification experiments.

**Key words:** vehicle initiative safety; heart sound acquisition and identification; independent sub-band function; heart sound signal certainty degree

## 引 言

为了提高汽车智能和安全性,现代汽车已经从过去的被动安全设置逐步跨入了主动安全设计,使汽车能够主动采取措施,提前避免事故的发生。汽车主动安全已成为当今智能汽车的热门研究领域

之一。

目前国内汽车主动安全技术主要有防抱死系统、驱动防滑转系统、汽车防撞雷达、驾驶员瞌睡预警系统、GPS系统、轮胎压力监测警告系统、发动机火警预报系统、前照灯自动调整系统、盲区监控系统、汽车间信息传输系统、自动制动系统、SOS停车系统、以及自动灭火系统等<sup>[1-4]</sup>,其目的是积极

主动避免从人到车所可能引发各种事故发生的因素。但是因驾驶员自身的原因所引发各种事故发生的因素研究得并不多,比如因驾驶员疲劳、心脏病突发猝死引起的车祸时有发生,因此出现了以驾驶员生理状态检测为代表的驾驶员现场健康监测模式。最近几年来,随着人口的老龄化趋势增长,汽车驾驶员也普遍存在高龄化问题,其中存在一定比例的潜在心脏病患者,一旦在驾驶车辆的过程中突发心脏病,这是目前主动安全设施不能及时检测的情况,是一种明显的安全隐患<sup>[4,5]</sup>。

根据心音的相关基础研究表明,心音能反映不同人的健康状况<sup>[5-6]</sup>,通过结合现有驾驶员疲劳检测系统以及汽车主动安全系统,合理地进行多信息融合处理,可以实现更全面的汽车可靠性和安全性的统一。因此本文提出了一种基于心音特征分析的汽车主动安全技术,探讨利用心音信号对驾驶员现场健康状况进行监测的可行性和具体实施方法。首先分析了心音信号与汽车背景噪声的特点,提出了汽车环境中的心音信号模型,据此设计出一种汽车主动安全的心音采集装置,然后给出一种基于独立子波函数的心音分类识别方法。最后通过一个实际的心音采集与分类识别实验,验证了本文所述方法的有效性和可行性。

## 1 心音信号与汽车背景噪声

心脏的跳动是心室和心房的充盈与收缩所致,心脏跳动信息经过心胸肌体到达体表就形成了可听见的“心音”。心音信号主要有如下特点<sup>[5-6]</sup>:

多数情况下只能听到第一心音  $s_1$  和第二心音  $s_2$ 。 $s_1$  相对较低而长,持续时间 0.15 s 左右, $s_2$  相对较短而高亢一些,持续时间 0.12 s 左右。心音信号的信息主要分布在第一心音和第二心音中,是提取心音特征的主要地方。而第三心音  $s_3$  和第四心音  $s_4$  不明显,通常不考虑其影响。心音信号的频率主要集中在 0~600 Hz,第一心音的频率成分主要集中在 50~150 Hz 范围内,而第二心音的频率成分主要集中在 50~200 Hz 范围内,它们的幅值变化显著,而其他频率范围则趋近于零。

心音信号具有周期性。由于心脏的跳动是周而复始的,因此同一人的心音信号是周期重复的,虽然各周期的波形中存在某些较小差异和不同的干扰,但仍然可近似作为周期平稳的重复性信号来处理。

汽车环境中的背景噪声主要有:喇叭声、马达

声、刹车声、语音(音响)、风声、轮胎行驶声及其他噪声等,又可分为车内噪声和车外噪声,本文重点研究车内背景噪声。典型车内背景噪声有如下特点<sup>[1,2]</sup>:

马达声是指发动机噪声,通常包括汽油燃烧所产生的噪音和机械振动产生的噪音,当汽车低速行驶或怠速时,汽油燃烧噪音大于机械振动噪音,当汽车高速行驶时,机械振动噪音大于汽油燃烧噪音。它是车内噪声的主要来源之一,频率主要集中在 0~200 Hz,平稳的马达声在 100 Hz 处有明显峰值点。汽车加速声是马达声的一种特殊形式,它的频谱呈现明显的超低频性,具有典型的低通频带谱。

语音是指车内乘客的说话声或音响的声音,它是一种主动型车内噪声,与乘车人的生理特点、情绪和语言内容等因素有关。语音基音的频率范围为 130~350 Hz,谐波的频率范围可达 130~4 000 Hz,但能量主要集在基音范围中。而音乐信号的频谱范围更宽,包含有更丰富的高次谐波。

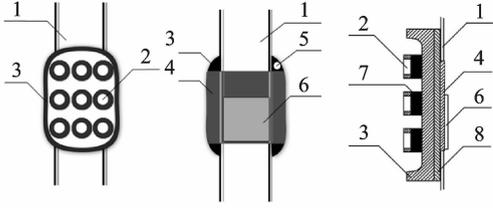
刹车声是指在刹车时,刹车片抱死轮胎,轮胎和地面发生剧烈摩擦,轮胎会发出刺耳的刹车声;汽车速度越快,质量越重,刹车越急,噪音就越响,有时刹车声可高达 70~90 dB。加速声频谱图,能量频主要集中在 0~200 Hz,但也存在明显的高音成分,是车内噪声中频谱较宽的一种噪声。

喇叭声是一种汽车与人及车辆之间进行交通信息沟通的特有语言,是汽车安全系统中不可缺少的内容,喇叭声是一个稳态信号,具有良好的指向性和音色,其基频一般在 400 Hz 左右,频谱表现为基频及其若干次倍频,在发声阶段无明显波动。这些噪声在 0~200 Hz 范围内明显与心音信号的频谱重合。

## 2 一种用于汽车主动安全的心音采集装置

为了实现在行车过程中对驾驶员的心脏健康状况进行实时监测,本文设计了一种用于汽车主动安全的心音采集装置,该装置配置于汽车安全带上,可以采集驾驶员的心音信号,并对心音信号进行预处理,然后对驾驶员的心脏生理状态进行分类识别,当心脏生理状态出现异常状态时报警提醒。该装置主要包括:心音采集探头阵列、信号处理电路、指示灯、锂电池以及配有尼龙套带的隔音腔体。心音采集探头阵列安装在一个可形变的椭圆形隔音腔体内壁,信号处理电路、声光报警器固定在隔

音腔体的顶部,在腔体上配置有内嵌锂电池的长方形尼龙套带,该套带可安装于汽车安全带上,并可沿安全带上调整位置,以便于心音信号的采集,如图 1 所示。



1—汽车安全带;2—心音采集探头阵列;3—椭圆形隔音腔体;4—长方形尼龙套带;5—声光报警器;6—锂电池;7—记忆材料;8—信号处理电路模块。

图 1 一种用于汽车主动安全的心音采集监控装置

为了提高心音采集效果,装置中采用多心音采集探头阵列形式排列,这些心音采集探头置于接触面可变形的隔音腔体中,其底部垫衬有记忆材料,在心音采集探头位置固定后,能保证心音采集探头与心脏的空间距离最小,以有效获取心音信号。当驾驶员插上安全带时心音监控装置进入工作状态,当心音监控装置未检测到心音时,指示灯亮,驾驶员需沿安全带上调整心音监控装置在胸前的位置,当检测到心音时,指示灯不亮;该装置在行车过程中实时监测驾驶员的心脏生理状态,采集的驾驶员心音信号经内部处理器对心音信号进行快速分析,或者传至车载计算机处理,根据心音分类算法判断出驾驶员的健康状态,当心音异常时,指示灯闪烁亮、声音报警,并可传送到汽车主动安全系统进行进一步处理。

为提高信号采集单元的工作时间,该装置采用锂电池供电,内部采用超低功耗处理器,而且在安全带未正确插上之前,处于关机状态,最大限度地降低功耗。

为提高心音信号分类识别的可靠性,需要最大程度消除汽车环境噪声,同时要有行之有效的快速算法对心音进行正确识别分类。

### 3 心音信号的提取方法

#### 3.1 汽车环境中的心音信号模型

设心音信号为  $S(t) = \sum_{i=1}^4 s_i(t)$ ,  $N_j(t)$  为车内背景噪声,包括喇叭声、马达声、刹车声、语音及其他噪声等,那么,汽车环境中的心音模型应为

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vdots \\ s_i \\ \vdots \\ N_j \end{bmatrix} \quad (1)$$

#### 3.2 基于 ICA 的心音信号分离方法

针对心音信号和车内噪声的特点,本文采用独立分量分析 (Independent component analysis, ICA) 方法将心音信号从车内噪声中分离出来,据式 (1) 的混合模型,令  $\mathbf{X} = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_k]^T$ , 其偏离矩阵为<sup>[6,7]</sup>

$$\mathbf{D} = \sum_{j=1}^K (\mathbf{X}^T - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \mathbf{x}_j^T) \quad (2)$$

利用白化后的数据去计算满足统计独立条件的逆矩阵  $\mathbf{W} = [\bar{w}_1, \bar{w}_2, \dots, \bar{w}_m]$ , 通过变换陡峭度最大化可获得逆矩阵  $\mathbf{W}$ 。那么分离出的心音信号  $s'$  为

$$\begin{bmatrix} s' \\ gN'_1 \\ \vdots \\ gN'_j \end{bmatrix} = \mathbf{W} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad (3)$$

上述 ICA 方法适合混合信号  $x_k$  的个数等于或大于源信号个数,心音采集装置中采用心音采集探头阵列就满足这种条件。

#### 3.3 心音信号的确度

为了判断在  $X(t)$  中分离出来的信号哪些是心音信号,哪些是汽车背景噪声,本文引入了一个新的参数——心音信号的确度 (Heart sound signal certainty degree, HSSCD)。

令分离后的信号  $S_k(t)$  的概率密度函数为

$$P(S_k) = \int_{S_{k1}}^{S_{k2}} p(S_k) dS_k \quad (4)$$

为了描述这个信号在时域中的信息量,本文定义

$$I_{s_k} = - \int_{-\infty}^{\infty} P(S_k) \log_2 P(S_k) dS_k \quad (5)$$

但是这种描述只能用在  $S_k$  为正值分布状态,为了解决包括  $S_k$  存在负值的情况,本文引入

$$RI_s = - \frac{1}{2} \log_2 \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} W_{S_k}(t, \omega) dt d\omega \right\} \quad (6)$$

式中:  $W_{S_k}$  为信号  $S_k$  的 Wigner-Viwe 分布,即

$$W_{S_k}(t) = \frac{1}{2\pi} \int S_k^* \left( t - \frac{1}{2}t \right) S_k \left( t + \frac{1}{2}t \right) e^{-i\omega} dt \quad (7)$$

定义心音的确度为

$$\text{HSSCD} = \frac{(RI_s)_{\text{比较信号}}}{(RI_s)_{\text{标准心音信号}}} \quad (8)$$

HSSCD 定量描述了某个信号与标准心音信号在信息量、复杂度方面所综合表现出来的相近程度。图2为多种心音信号和多种汽车背景噪声的时域波形图,其中  $x$  轴为采样点,  $y$  轴为幅值;表1为这些信号所对应的 HSSCD 值。通过对上述的 HSSCD 分析,有如下结论:

**判定1** 当  $\text{HSSCD}=1$ ,表明是完全相同的两个心音信号;

**判定2** 当  $\text{HSSCD}$  逼近 1 时,表明被检测信号可归类为心音信号;

**判定3** 当  $\text{HSSCD}$  值较小时,表明被检测信号可归类其他信号,不属于心音信号。

实验表明, HSSCD 与信号的采样频率、长度的变化关系不大,即使两信号的采样频率、长度有差异, HSSCD 也基本保持不变;并且 HSSCD 与信号的某个具体时间点或某个频率值无关,具有对信号类型的普适性和使用对象的针对性,即可用于心音信号分离、去噪结果的判定,也可用于其他信号的分析 and 特征识别。

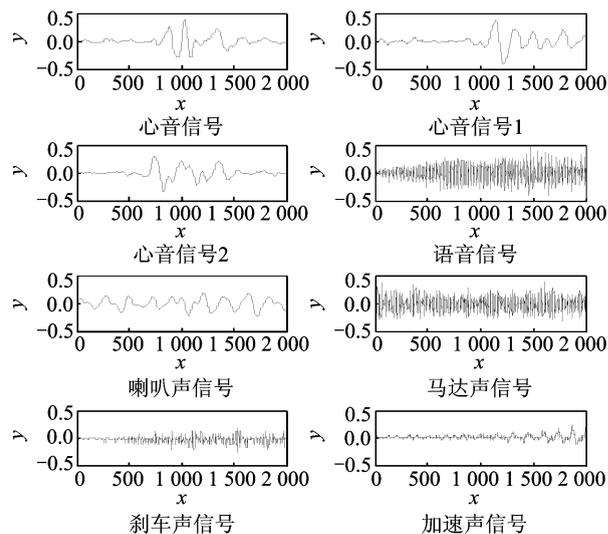


图2 部分心音信号和车内背景噪声的波形图

表1 图2中各种信号对应的 HSSCD 值

信号类型	HSSCD	信号类型	HSSCD
心音信号	1	喇叭声	0.867 8
心音信号 1	1.099 1	马达声	0.358 5
心音信号 2	0.994 1	刹车声	0.453 6
声音信号	0.480 7	汽车加速声	0.732 3

## 4 心音独立子波函数算法

心音的特征提取是找到一种变换,这种变换可

以将原始的心音信号转换到某个状态特征空间,而且能够保存所有的原始信息,为心音的分类识别奠定基础<sup>[5]</sup>。

### 4.1 心音独立子波函数的描述

对于一路心音信号  $s(t)$ ,如果能将其分解为等长的  $q$  层数据段  $Z_q$  ( $q=1,2,\dots,Q$ ),然后对于  $s(t)$  分成  $Q$  层后的信号进行独立成分分析,通过寻找一个满秩分离矩阵,从而定义输出信号  $[b_1, b_2, \dots, b_Q]$  中包括了尽可能独立的心音信号  $s(t)$  的信息,这一组在时域相互统计独立的函数,被称为独立子波函数簇<sup>[8,9]</sup>。

独立子波函数具有较强的时域局部特性,因为不同信号获得的独立子波函数各不相同,而离散傅里叶变换(Discrete Fourier transform, DFT),离散余弦变换(Discrete cosine transform, DCT)变换对各种信号获得基函数都十分相似,在时域呈现明显的全局特性。

独立子波函数具有较强的频域局部特性。因为不同信号获取的独立子波函数的频率特性曲线都各不相同。

这些特性表明,独立子波函数作为一种特征参数能不重叠地对信号进行表征,在心音的识别与分类中可作为一种有效的特征参数。

### 4.2 心音独立子波函数的算法实现

获取心音独立子波函数的具体步骤如下:

(1)对心音信号  $s(t)$  进行分层处理。信号分层相当于在一组正交基上投影,而分层信号的正交性则有利于对信号进行独立成分分析,同时各分层信号的长度应保持相同。满足这两个条件的各种分层方法均可,比如小波分层法、经验模态分解(Empirical mode decomposition, EMD)分层法等;

(2)对分层信号去均值、预白化;

(3)对预处理后的分层信号进行独立成分分析,最终得到心音独立子波函数簇。

如图3(a)所示是单个周期心音信号  $s$ ,先采用 EMD 将  $s$  分解为一系列近似简单的分量信号的组合,即

$$s_k(t) = \sum_{l=1}^L \lambda_l Z_l + r \quad (9)$$

式中:  $Z_l$  为第  $l$  个由信号的性质自适应分解的本征模态函数(Intrinsic mode function, IMF);  $r$  为残余函数,代表信号的平均趋势;  $\lambda_l$  为系数。图3(b)是  $s$  经 EMD 的结果,其中  $x$  轴为采样点,  $y$  轴为幅

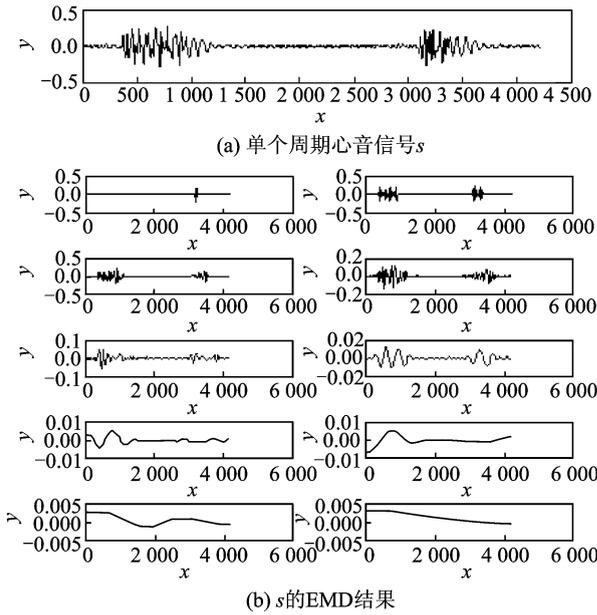


图 3 一种心音信号的分层结果

值。将  $s_k(t)$  中的奇数项合并成  $s_{11}(t)$ , 偶数项合并成  $s_{12}(t)$ , 使它们变成幅值基本相等的两组分层信号, 如图 4(a) 所示; 然后分别用 fastica(定点迭代算法), infomax(信息最大化算法), dwt\_ica 三种盲分离 (Blind source separation, BSS) 算法对  $s_{11}(t)$ ,  $s_{12}(t)$  进行统计独立处理, 以获取心音独立子波, 如图 4(b, c, d) 所示。从图 4 可以看到独立心音子波的样本点数和源信号  $s$  相同, 但是三种方法获得的心音独立子波在幅值上有很大的区别。利用 dwt\_ica 方法每次获得的心音独立子波  $b_{1d}$ ,  $b_{2d}$  基本相同, 而用 fastica 和 infomax 方法每次获得心音独立子波  $b_{1f}$ ,  $b_{2f}$ ,  $b_{1i}$ ,  $b_{2i}$  就略有不同, 特别是 infomax 方法有明显的不确定性, 最好的结果

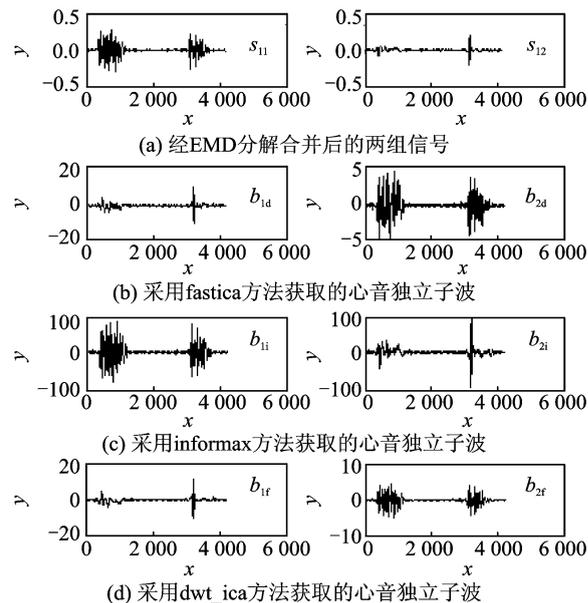


图 4 三种 BSS 算法获取的心音独立子波函数

比 dwt\_ica, fastica 算法的效果都好, 但常常出现比这两种方法都差的情况。图 4 中的心音独立子波函数簇是 3 次试验结果的平均值, 其中  $x$  轴为采样点,  $y$  轴为幅值。重构性用相似系数描述: 两个心音独立子波  $b_1$ ,  $b_2$  重构的心音信号与原心音信号间的相似系数<sup>[9]</sup> 越大越好; 不相关性用相关系数  $r$  描述, 是心音独立子波之间不相关程度的度量指标,  $b_1$ ,  $b_2$  的相关系数越小越好。比较的数据结果如表 2 所示, 表中的值是 3 次试验结果的平均值。

表 2 3 种 BSS 算法获取独立子波函数的效果比较

3 种 BSS 算法	重构性	相关系数	计算时间/ s	综合评价
fastica	0.997 9	0.000 0	0.483 6	好
dwt_ica	0.998 3	0.000 0	0.062 4	很好
infomax	0.991 9	0.435 2	0.421 2	较好

从表 2 中的数据可以看到, 从信号的重构性判断, 3 种算法的效果都不错; 而从独立心音子波的相关程度判断, fastica 和 dwt\_ica 算法的效果都很好, 但 infomax 算法获取子波的相关性明显较大; 从花费的计算时间分析, dwt\_ica 算法最节省。综上所述, dwt\_ica 算法在各个方面都显示出明显的优势, 所以本文将采用 dwt\_ica 算法去获取心音独立子波函数。

## 5 心音的分类识别

心音的分类识别过程实质上是一个自动化的模式匹配过程。心音分类识别算法较多, 比如统计识别法、神经网络识别法等<sup>[8]</sup>。本文采用心音独立子波函数作为一种新的统计特征参数就需要一种与之相适应的模式匹配方法, 因此定义一种相似距离来辨识两个心音信号的独立子波函数之间的距离。

设标准组的心音信号的独立子波函数码为  $b_i^c(t)$ , 被识别心音信号的独立子波函数码为  $b_j^s(t)$ , 则相似距离为

$$d_k = 1 - \frac{\left| \sum_{n=1}^N b_i^c(t) b_j^s(t) \right|}{\sqrt{\sum_{n=1}^N (b_i^c(t))^2 \sum_{n=1}^N (b_j^s(t))^2}} \quad (10)$$

相似距离  $d_k$  值越小, 则  $b_i^c(t)$  与  $b_j^s(t)$  越相似; 当  $d_k = 0$  时,  $b_j^s(t) = b_i^c(t)$ , 表明两者完全相同。因此, 在信号预处理后, 将被识别心音信号的每一个独立子波函数都分别与标准组数据库中的心音独立子波函数一一对应地进行模式匹配, 可计算它们的相似距离均值, 并据此进行分类识别。

当然也可以利用动态规划的方法,寻找一条标准组心音数据库信号与待识别心音信号的最小累计距离,根据动态时间归整(Dynamic time warping, DTW)算法<sup>[10]</sup>。

$$D(x, y) = d(x, y) + \min[D(x - 1, y), D(x - 1, y - 1), D(x - 1, y - 2)] \quad (11)$$

式中: $x$  代表标准心音信号的帧数, $y$  代表待识别心音信号的帧数, $x$  每前进一帧,只需用到前一列的累计距离  $D$  和当前列所有帧匹配距离  $d(x, y)$ , 求出当前帧的累计距离,直到  $x$  的最后一帧矢量  $D$  的第  $M$  个元素,即为  $x, y$  动态弯折的匹配距离。

## 6 实验结果

### 6.1 采集与分离心音

在汽车主动安全的心音采集装置中需要设置采样频率、通道数等参数。因为心音的主要频率范围为  $10 \sim 400$  Hz,而心脏杂音在  $1\ 500$  Hz 以下,根据采样定律,采样率至少要大于  $3\ 000$  Hz 才能不失真<sup>[11]</sup>。在车内噪声相对较大的环境下,重点分析心音、马达声、语音,其他噪声视为混杂音,这样为四源信号,采用 4 通道、 $11\ 025$  Hz 采样,它们的一组采集结果如图 5(a~d)所示。然后按照第 3 节所述心音信号的提取方法,用 ICA 对采集的 4 个混叠信号进行盲分离,获得的 4 个分离信号如图 5(e~h)所示。

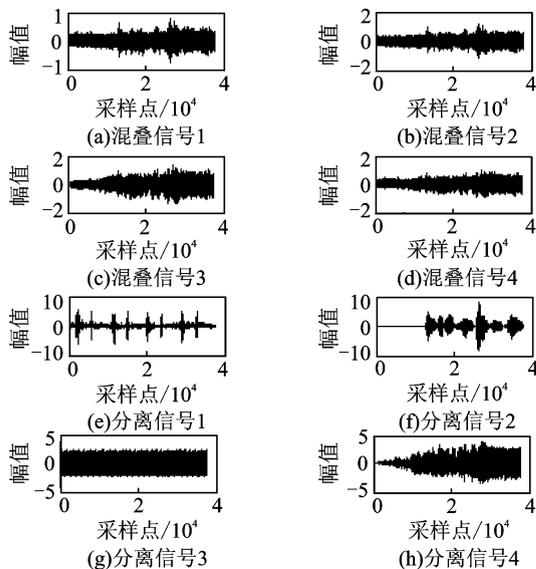


图 5 心音采集装置中信号的获取与分离

为了判断 4 个分离信号中哪些是心音信号,哪些是汽车背景噪声,本文采用心音信号的相似度式(8)进行分析,设标准组的心音信号为  $C_i(t)$ ,被识别信号为  $s_j(t)$ ,当分离信号的相似度 HSSCD 值

大于 0.95 时,就认为是心音信号。

### 6.2 心音信号的预处理

心音信号的预处理主要完成如下工作:(1)确定一段心音信号中每一个第一心音、第二心音的起点和终点;(2)找出一个周期心音信号的起点和终点,计算出心率,以更好地显示心音的特征,突出心音的主要成分,为心音信号的分类识别做好前期准备。首先计算如图 6(a)心音信号(即分离信号 1)的能量谱  $P(i) = s_y(i)^2, i = 0, 1, 2, \dots$ ,并利用希尔伯特黄变换的包络提取方法提取心音包络,结果如图 6(b)所示,然后以包络线均值为阈值,可获得归一化的能量包络线如图 6(c)所示,优化后的归一化包络比直接取得的包络更能准确地反应出心音的分段,其中每个较宽脉冲分别代表第一心音,较窄脉冲分别代表第二心音,这样可方便计算出心音间隔和心跳频率。最后将心音按周期分段,其结果如图 6(d)所示。

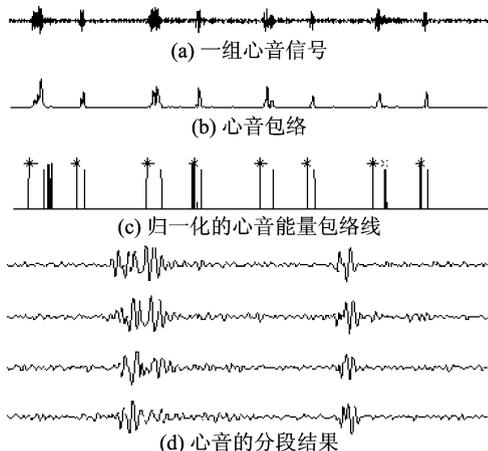


图 6 心音信号的预处理

### 6.3 心音信号的分类识别

在识别模式下,将小型心音数据库中的心音资料作为标准组,这个心音数据库中包含正常心音(如比较心音信号 1)和异常心音(如比较心音信号 2 是早搏心音、比较心音信号 3 是房颤心音),任选如图 6(d)中的一个周期心音信号作为测试心音信号。测试心音信号和比较心音信号如图 7(a~d)所示。

要求标准组、测试组的信号用同一套设备,相同的放大倍数,不能出现饱和和失真(最好控制在最大不失真幅值的  $70 \sim 80\%$  效果较好)。将这些数据按第 4 节的方法分别提取心音独立子波函数作为一种统计特征参数,设标准组的心音信号的独立子波函数为  $b_i(t)$ ,被识别心音信号的独立子波

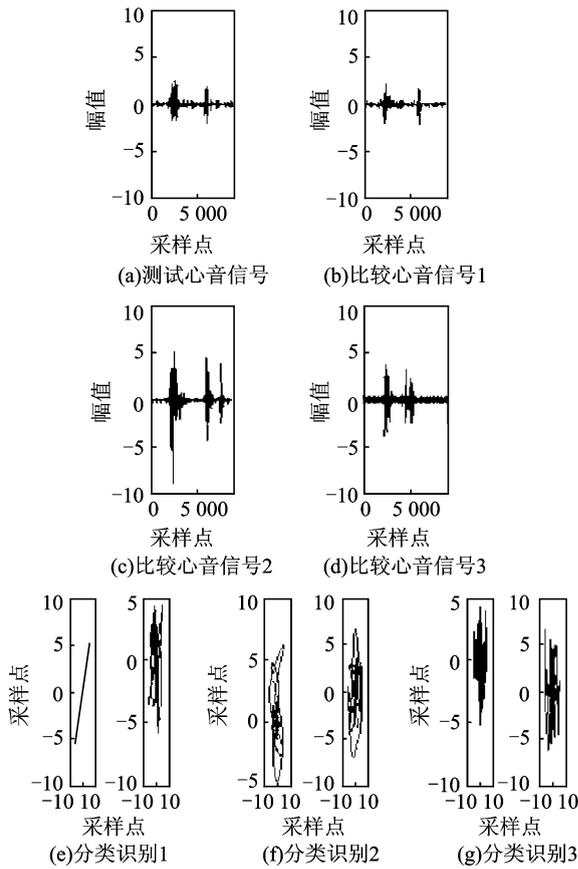


图 7 心音信号的分类识别效果

函数码为  $b_j(t)$ , 然后按照式(3)计算它们的平均相似距离, 分别为: 0.079 0, 0.611 4, 0.894 2, 直接取相似距离最小的作为识别结果, 该测试信号识别为正常心音信号。它们的相似相图如图 7(e~g)所示, 可直观地看出, 分类识别 1 中测试信号与心音库中的正常心音信号最相似, 它们的相似相图是一条有  $45^\circ$  角度的细斜线<sup>[8]</sup>。

经上百次的不同心音分类识别实验表明, 同人同时段的分类识别率是 100%; 同人异时段的分类识别率是可达 97% 以上; 针对某个特定的人的心音处理, 可以不断地以新采集的心音去更新标准数据库, 那么正确分类识别可达 99% 以上。如果仅要求按正常心音和异常心音分类, 那么分类识别的效率、效果会更好。

## 7 结束语

本文提出了一种基于心音检测分类识别的汽车主动安全新方法。通过分析心音信号与汽车背景噪的主要特点, 设计出在汽车上进行心音采集、分离、分类识别的软硬件方案, 比较了 fastica, dwt\_ica, infomax 三种算法获取心音独立子波函数的效果, 其中 dwt\_ica 算法的综合评价结果最好, 并

且讨论了心音信号模型、含噪心音混合信号的分离模型和心音分类识别模型。这为设计针对性强、信息经过简化的心音识别分类系统奠定了基础。另外, 本文还提出了针对心音独立子波函数特征参数的相似距离模式匹配法、归一化包络线心音周期分段技术以及心音确定度等行之有效的心音分类识别技术, 使计算代价变小, 且分类识别率明显提高, 这为心音分类识别的实际应用开辟了一条新途径。

### 参考文献:

- [1] Papadelis C, Chen Z, Kourtidou-Papadeli C. Monitoring sleepiness with on board electro-physiological recordings for preventing sleep-deprived traffic accidents[J]. *Clinical Neuro Physiology*, 2007 (118): 1906-19221.
- [2] Senongkeun Jae P H, Euntai Kim. A neural network approach to target classification for active safety system using microwave radar [J]. *Expert System with Application*, 2010, 37(3):2340-2346.
- [3] 宋晓琳, 冯广刚, 杨济匡. 汽车主动防撞系统的发展现状及趋势[J]. *汽车工程*, 2008, 30(4): 285-290. Song Xiaolin, Feng Guanggang, Yang Jikuang. The current state and trends of automotive active collision avoidance system [J]. *Automotive Engineering*, 2008, 30(4): 285-290.
- [4] 肖献强, 王其东. 基于驾驶行为及意图的汽车主动安全技术研究[J]. *中国机械工程*, 2010(10): 2390-2393. Xiao Xianqiang, Wang Qidong. Study on automotive active safety technology based on driving behavior and intention [J]. *China Mechanical Engineering*, 2010(10): 2390-2393.
- [5] 成谢锋, 马勇, 张少白, 等. 基于数据融合的三段式心音身份识别技术[J]. *仪器仪表学报*, 2010, 8(31): 1712-1720. Cheng Xiefeng, Ma Yong, Zhang Shaobai. Three-step identity recognition technology using heart sound based on information fusion[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2010, 8(31): 1712-1720.
- [6] Maglogiannis I, Loukis E, Zafiropoulos E, et al. Support vectors machine-based identification of heart valve diseases using heart sounds[J]. *Comput Methods Programs Biomed*, 2009, 95(1): 47-61.
- [7] Cheng Xiefeng, Tao Yewei. Heart sound recognition—A prospective candidate for biometric identification [J]. *Advanced Materials Research*, 2011

- (225):433-436.
- [8] Cheng Xiefeng, Ma Yong. Applications of independent sub-band functions and wavelet analysis in single-channel noisy signal BSS: Model and crucial technique[J]. Chinese Journal of Electronics, 2009(37): 1522-1528.
- [9] 何继爱,达正花,唐艳娟. 基于 AR 模型的盲源分离方法[J]. 数据采集与处理,2011,26(2): 162-166.  
He Jiai, Da Zhenghua, Tang Yanjuan. Blind separation based on AR model [J]. Journal of Data Acquisition and Processing, 2011, 26(2): 162-166.
- [10] Kumar D, Carvalho P, Antunes M, et al. Heart murmur recognition and segmentation by complexity signatures[C]//Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. Vancouver, BC; Engineering in Medicine and Biology Society, 2008:2128-32.
- [11] Cheng Xiefeng, Ma Yong, Liu Chen, et al. Research on heart sound identification technology[J]. Sci China Inf Sci, 2012, 55: 281-292.
- 作者简介:**马勇(1983-),男,博士研究生,研究方向:模式识别、主动安全和机器人技术;成谢锋(1956-),男,教授,研究方向:智能信息处理、智能仪器, E-mail: chengxf@njupt.edu.cn。

