



【应用技术】

模式识别技术在扬声器故障诊断中的应用

卢学军, 储 标, 许增朴, 殷 伟
(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 针对目前扬声器检测普遍采用人耳监听现状, 提出一种基于模式识别技术进行扬声器故障检测的方法. 首先, 对 87 个类型已知的各类扬声器进行数据采集和数据处理, 并计算不同类型扬声器的类标准频谱图; 然后, 测试其他已知类型的扬声器, 进行数据处理, 计算其频谱与类标准频谱图之间的欧氏距离、相似度和二维相关系数三种指标, 并根据其对扬声器进行识别. 试验结果表明, 利用频谱图及多指标的模式识别技术能够提高故障诊断精度.

关键词: 扬声器; 模式识别; 故障诊断; 频谱图

中图分类号: TB52

文献标识码: A

文章编号: 1672-6510(2007) 01-0072-03

Application of Pattern Recognition Technique to Fault Diagnosis for Loudspeaker

LU Xue-jun, CHU Biao, XU Zeng-pu, YIN Wei

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: Loudspeakers faults are now detected by ears in the factories, so a fault diagnosis method based on pattern recognition technique was presented. Firstly, the responses of some classified speakers were acquired and processed in order to get the standard frequency spectrum of different types of loudspeakers. Secondly, three kinds of indexes of Euclidean distance, similarity and two-dimensional correlation coefficient were used to recognize the types of the rest known types of loudspeakers by comparing their frequency spectrum figures of response with the standard ones. Results show that the new method can improve the rate of correct recognition.

Keywords: loudspeaker; pattern recognition; fault diagnosis; frequency spectrum figure

扬声器的在线故障检测, 一般是用正弦扫频信号激励待检测扬声器, 由人耳监听的方法实现的^[1,2]. 随着现代科技的发展, 自动化检测成为一种趋势, 在各种行业标准相继诞生的今天, 这种靠人耳监听来检测扬声器故障的方法, 因其靠人的经验和感觉、缺少量化标准, 不利于自动化生产, 越来越暴露出其弊端^[3]. 因此怎样自动识别出故障扬声器, 成为电声行业迫切要解决的问题. 本文针对某电声器材公司生产的扬声器, 通过进行数据采集、数据分析, 研究了故障扬声器的信号特点, 为扬声器故障的在线自动识别打下了基础.

这个过程. 其中每个过程都包括预处理、特征选择与提取两部分, 即利用传声器拾取扬声器在扫频激励下的

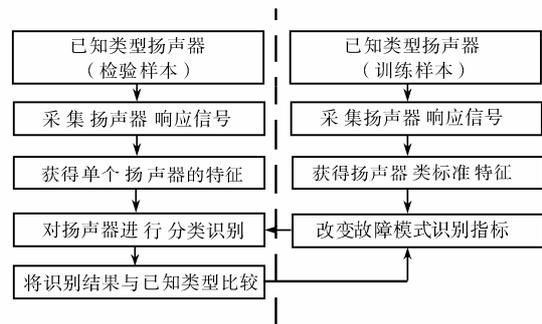


图1 扬声器故障识别流程图

Fig.1 The flow chart of loudspeakers' fault pattern recognition

1 扬声器故障模式识别流程

扬声器的故障模式识别, 主要包括学习与识别两

收稿日期: 2006-09-27

作者简介: 卢学军 (1968—), 女, 河北藁城人, 副教授, 博士.

声音响应信号,然后对采集到的信号进行处理,提取其内在的本质特征.学习过程是在一定的扬声器模板(标准)样本基础上,依据一定的分类规则来设计分类器,而识别过程是将未知模式与已训练好的分类器进行匹配来识别未知模式的类别.扬声器模式识别的流程如图1所示.

2 扬声器信号采集及特征提取

扬声器信号采集系统由扫频信号发生器、扬声器、传声器和数据采集系统组成.为了保证扬声器响应信号不受外界环境噪声的干扰,所有的测试都在消声室进行,扬声器与传声器均固定在支架上,并保持两者的距离不变.扫频信号的扫频范围取20~1500Hz.通过数字信号采集系统,将连续的响应信号数字化,得到声音信号的时间序列 $x[n]$,将其存储在计算机中.

如果用确定的扫频信号激励扬声器,扬声器故障特征必然会在扬声器响应信号中反映出来.扬声器响应信号是典型的非平稳信号,在比较了小波、Wigner和Hilbert-Huang等多种非平稳信号的分析方法之后,发现短时傅立叶变换(STFT)算法简单,易于实现,运算速度快且能够反映扬声器响应信号的时频特征.因此采用STFT方法对扬声器的响应信号进行处理,将其响应信号从“时间—幅值”的二维空间变换到“时间—频率—能量”的三维空间,分析结果用频谱图表示.

STFT研究信号在时间 t 的特性,通过用中心在 t 的窗函数 $h(t)$ 与信号相乘来实现.对于不同的时间 t ,窗 $h(t)$ 沿着时间轴滑动,STFT的数学表达式为^[4]

$$S_t(f) = \int e^{-j2\pi f\tau} x(\tau)h(\tau-t) d\tau \quad (1)$$

信号 $x(t)$ 在时间 t 的能量密度频谱为^[5]

$$P_{sp}(t, f) = |S_t(f)|^2 = \left| \int e^{-j2\pi f\tau} x(\tau)h(\tau-t) d\tau \right|^2 \quad (2)$$

对于每一个不同的时间 t ,都可以得到一个不同的频谱,这些频谱的总体分布就是时频分布 $P_{sp}(t, f)$,也就是时频分布的频谱图.

对式(2)离散化处理,可以获得信号的特征矩阵.设采集到的信号 $x(t)$,信号长度为 x ,采样频率为 f_s ,其算法为 $x(t)$ 采用窗长度为 w 的hanning窗,窗与窗之间重叠的点数 o .定义一个大小为 $w \times c$ 的矩阵,将信号 $x(t)$ 中元素按式(3)排列到矩阵 $[X]_{w \times c}$ 中^[6]:

$$X = \begin{bmatrix} x[0] & x[w-o] & \cdots \\ x[1] & x[1+w-o] & \cdots \\ \vdots & \vdots & \\ x[w-1] & x[2w-o-1] & \cdots \\ x[(c-1)(w-o)] & & \\ x[(c-1)(w-o)+1] & & \\ x[(c-1)(w-o)+w-1] & & \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中, $c = \left\lfloor \frac{x-o}{w-o} + 0.5 \right\rfloor$,表示窗滑动的次数.

将 $[X]$ 中各列进行FFT后得到 $[Y]_{s \times c}$,对 $[Y]_{s \times c}$ 中的数值采用式(4)变换得到新矩阵 $[Z]$.

$$Z[i, j] = 10 \log_{10}(|y[i, j]|), \quad (i = 0, 1, \dots, s-1, j = 0, 1, \dots, c-1) \quad (4)$$

式中, $s = w/2 + 1$.矩阵 $[Z]_{s \times c}$ 就是扬声器的特征矩阵,从而实现对扬声器响应信号的特征提取.将上述特征矩阵用索引图像表示,就得到了扬声器的频谱图^[7].

3 扬声器故障模式识别指标

即使在同一生产条件下,同类扬声器的响应信号也存在差异,其频谱图也略有不同.为了减少随机干扰,对于同种故障类型的扬声器响应信号的多幅频谱图求类内平均,将平均后的频谱图作为该种扬声器类型的标准频谱图.频谱图求平均,是指将几幅具有相同宽度和高度的频谱图中相同位置像素点的灰度值相加求平均,用平均得到后的灰度值重新组成一幅图,从而得到该类的类标准频谱图.

为了实现识别,研究了3种模式识别指标,分别为欧氏距离、相似度和二维相关系数.结合频谱图的特点,3种模式识别指标的定义如下:

设频谱图由 $N = W \times H$ 个像素点构成, W 和 H 分别为宽度和高度, $G(i, j)$ 为频谱图第 i 行第 j 列像素点对应的灰度值,其中 $1 \leq i \leq H, 1 \leq j \leq W$,则频谱图 A 和 B 之间的欧氏距离 E_{AB} 定义为^[8]

$$E_{AB} = \sqrt{\sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W [G_A(i, j) - G_B(i, j)]^2} \quad (5)$$

频谱图 A 和 B 之间的相似度 S_{AB} 为

$$S_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W G_A(i, j) \cdot G_B(i, j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W G_A^2(i, j) \cdot \sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W G_B^2(i, j)}} \quad (6)$$

频谱图 A 和 B 之间的二维相关系数 R_{AB} 为

$$R_{AB} = \frac{\sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W (G_A(i, j) - \overline{G_A})(G_B(i, j) - \overline{G_B})}{\sqrt{(\sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W (G_A(i, j) - \overline{G_A})^2)(\sum_{i=1}^H \sum_{j=1}^W (G_B(i, j) - \overline{G_B})^2)}} \quad (7)$$

式中: $G_A(i, j)$ 和 $G_B(i, j)$ 分别表示频谱图 A 和 B 中第 i 行和第 j 列像素的灰度值。

识别原则:综合三种指标,在欧氏距离、相似度、图像二维相关系数三种指标中,只要有两种指标将扬声器归于某类,就将该扬声器识别为这一类。

4 实验

选取了同一条生产线上生产的同种型号的 87 个扬声器作为试验样本,人耳监听出有 60 个好的扬声器,三种故障类型共 27 个扬声器,其中,碰圈故障 11 个,罩粘接和砂子故障各有 8 个。通过时频分析得到了各扬声器响应信号的频谱图,并从好扬声器中取 20 幅频谱图,对其平均后得到对应好扬声器的类标准频谱图,如图 2 所示。对于 3 类故障扬声器分别取 6 幅频谱图进行平均后,得到其相应的类标准频谱图如图 3、图 4、图 5 所示。

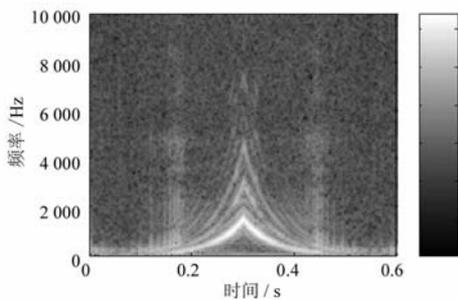


图 2 好扬声器的类标准频谱图

Fig. 2 Standard spectrogram of good loudspeakers

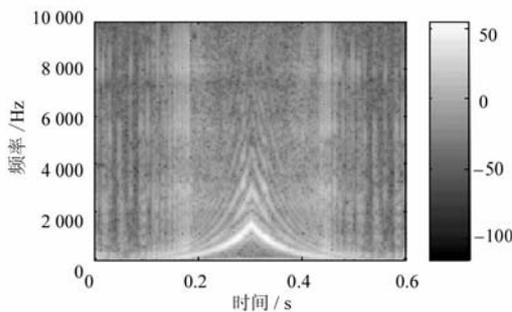


图 3 碰圈故障的类标准频谱图

Fig. 3 Standard spectrogram of voice coil hitting the back plate

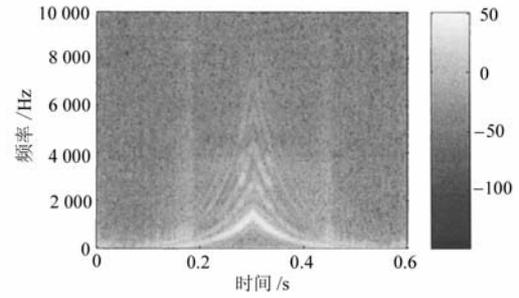


图 4 罩粘接故障的类标准频谱图

Fig. 4 Standard spectrogram of loose glue joint

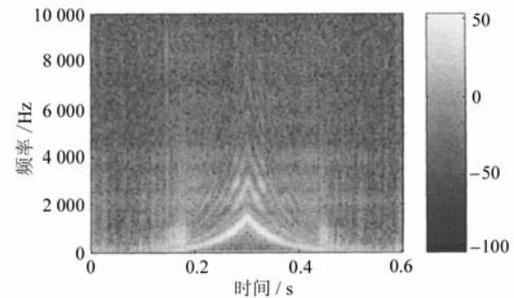


图 5 砂子故障的类标准频谱图

Fig. 5 Standard spectrogram of having sands

计算待识别的扬声器频谱图与类标准频谱图的 3 种识别指标,进行扬声器故障模式识别。对剩余已知类型的 40 个好扬声器和 9 个故障扬声器进行模式识别,以验证识别方法。总的识别效果如表 1 所示。

表 1 三种指标识别率的比较

Tab. 1 Recognition score comparison to three indexes

判据指标	欧氏距离	相似度	二维相关系数	综合评判
正确识别率/%	91.9	93.88	93.88	95.92

从表 1 中可以看到,如果用一种识别指标,会存在相对较大误判,如欧式距离正确识别率只有 91.9%,但如果采用 3 种指标进行综合判断,就可以将正确识别率提高到 95.92%。但是由于样本数有限,仍然存在 4% 的识别错误,需要通过进一步增加样本量,以提高类标准的精度。

5 结语

提出一种基于模式识别技术进行扬声器故障检测的方法,通过对扬声器的响应信号进行时频分析,把信号所蕴含的特征信息在三维空间中更清晰地描述出来,从而利用三维空间中的特征信息进行故障诊断。首先,根据样本得到好扬声器和 3 种故障扬声器的类

(下转第 82 页)