



一种基于振动位移的扬声器异音故障检测方法

许增朴, 关 帅, 王永强, 周聪玲
(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 为了满足扬声器纯音检测的需要,提出了一种基于激光位移传感器的扬声器异音故障检测方法.该方法利用激光位移传感器采集扬声器纸盆中心振动信号,通过短时傅里叶变换将扬声器振动信号从一维的时域信号变换成二维的时频域信号.对时频图采用多级阈值分割的方法进行图像分割,统计其高频区域灰度值落于0~0.3的所有像素个数作为特征值,进而判断扬声器的好坏.实验表明,此方法对扬声器异音故障检测的正确率可达到97%.

关键词: 扬声器; 激光位移传感器; 短时傅里叶; 图像分割

中图分类号: TP274 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2012)03-0064-04

Vibration Displacement Based Fault-detecting Method for the Loudspeakers' Sound Distortion

XU Zengpu, GUAN Shuai, WANG Yongqiang, ZHOU Congling

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

Abstract: In order to meet the needs for speaker pure tone detection, a sound fault detecting method based on laser displacement sensors was proposed. Using laser displacement sensors to collect the vibration signals at the center of the speaker cone, and by means of short-time Fourier transform, the vibration signals were transformed into two-dimensional time-frequency domain signals from one-dimensional time-domain signals. Multilevel threshold segmentation method was used to segment images. Finally the number of pixels whose gray value is between 0 and 0.3 in the high frequency area was collected, which was used to judge whether the speaker is good or not. Experiments show that, in this experiment, the accuracy of this method is 97%.

Key words: loudspeaker; laser displacement sensor; STFT; image segmentation

扬声器是一种电声器件,应用广泛,在人们的日常生活中起着重要的作用.目前,国内扬声器检测标准主要依据 GB 9396—1988《扬声器的主要性能测试方法》的规定.其中,具有代表性的指标为:总品质因数、扬声器单元的等效容积、频率特性、极性指标、自由场条件下的声压、输入电功率、频率响应和纯音等.这些指标中的大多数可以在消音室或现场用声学仪器进行精确检测,只有纯音检测是通过人耳进行听觉判断.纯音检测^[1]是对扬声器施加20—1500—20 Hz的正弦对数扫频信号,利用人的听觉检测分析其响应信号是否正常.用人耳评估扬声器好坏存在许多问题,如检测结果因人的年龄增长、情绪变化及因长时间监听产生的听觉疲劳等而不同.文

献[2]对扬声器纯音故障特征进行研究,其用传声器采集扬声器响应信号,并通过时频变换对响应信号进行处理,由时频图进行特征曲线提取与识别.这种方法用于消音室或消音箱的环境下,对扬声器故障具有很好的判断能力.但在扬声器生产车间,一般存在复杂的电磁干扰和噪声.如大功率超声波溶胶机工作和生产线运动产生的噪声均对扬声器响应声音信号的采集影响较大.而声音信号的采集会因背景噪声的不同而改变.因此,怎样实现工业现场大噪声环境下的异音故障检测成为扬声器故障检测的难题.

扬声器发声原理为扬声器音圈通过音频电流时会在磁场中产生振动,纸盆随音圈振动,并推动空气振动,从而产生声音.本文采用激光位移传感器直接

收稿日期: 2012-01-10; 修回日期: 2012-02-22

作者简介: 许增朴(1952—),男,河北安国人,教授,博士生导师, xuzengpu@tust.edu.cn.

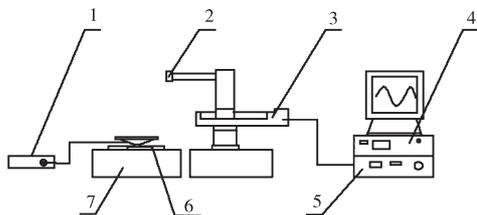
采集扬声器纸盆中心振动位移信号, 截取一段整周期振动位移信号, 对其进行短时傅里叶变换, 然后采用图像处理与分割方法由时频图提取特征并识别. 此方法可较好地避免工业现场环境噪声对扬声器检测系统的影响, 使测量系统能更好地在工业现场工作.

1 扬声器检测系统原理

1.1 系统工作原理

测量系统总体结构如图 1 所示, 主要包括激光位移传感器、x-y 移动平台、控制箱、扫频仪、电脑、夹具. 其技术解决方案为:

- (1) 驱动 x-y 移动平台带动激光位移传感器移动至纸盆中心.
- (2) 对扬声器施加正弦对数扫频信号激励, 同时用激光位移传感器采集纸盆中心振动位移信号. 激光位移传感器将采集到的振动位移信号转换成电信号, 以数字信号形式输出, 供计算机后续处理.
- (3) 利用扬声器异音故障检测软件在计算机上完成异音故障的识别与诊断.



1. 扫频仪; 2. 激光位移传感器; 3. x-y 移动平台; 4. PC; 5. 控制箱; 6. 夹具; 7. 大理石平台

图 1 测量系统组成

Fig. 1 Composition of the measurement system

扬声器故障检测流程如图 2.

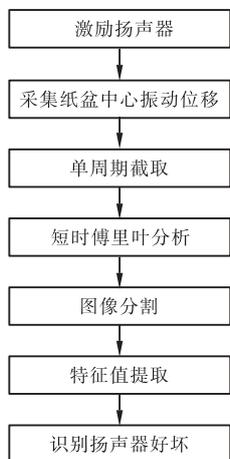


图 2 扬声器故障检测流程

Fig. 2 Flow chart of the loudspeaker fault detection

1.2 激光测距原理

采用激光位移传感器的采样频率为 50 kHz, 测量范围为 (150 ± 40) mm, 再现性 0.5 μm. 激光位移传感器采用激光三角法测距原理设计, 主要硬件由激光源、会聚透镜、成像透镜、探测器 (CCD) 及信号处理控制器组成.

激光三角法^[3-4]测距原理如图 3 所示. 激光发射器通过镜头将激光射向待测物体表面, 经物体反射的激光通过接收器镜头, 在内部的接收器 (线阵 CCD) 上成像, 当物体表面位置发生变化时, 其像在接收器上的位置也发生相应位移改变, 通过像移和实际位移之间的关系, 可计算出待测物体的真实位移.

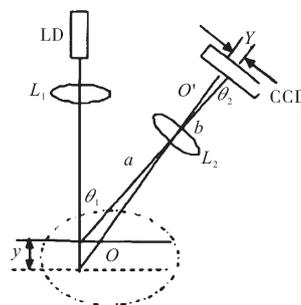


图 3 测距原理图

Fig. 3 Figure of ranging principle

1.3 振动位移信号的离散短时傅里叶变换

在动态信号处理中通常采用时域和频域两种基本方式来描述信号. 傅里叶变换是信号从时域到频域的数学变换方法, 其能将时域信号变换到频域中进行分析并描述信号的整体频谱特性. 然而用于激励扬声器的扫频信号时刻都发生变化, 用传统的傅里叶变换无法获得信号的时间频率特性, 因此需要采用时频分析方法对信号进行分析. 短时傅里叶是分析瞬时频率特性的有效工具. 短时傅里叶^[5]是用一个时宽足够窄的窗函数去乘时域信号, 并假定非平稳信号在窗内局部是平稳的, 然后进行离散傅里叶变换, 便可得到信号的局部频谱. 通过窗函数沿时间轴移动, 并对窗内信号进行傅里叶变换, 得到信号的一系列“局部频谱”, 分析不同时刻对应“局部频谱”的差异, 就可以得到信号的时频特性.

若已知序列 $s(n)$ 和窗函数 $h(n)$, 则 $s(n)$ 的短时傅里叶变换 (STFT) 定义为

$$S(n, \omega) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} s(m)h(n-m)e^{-j\omega m} \quad (1)$$

如果所选窗函数的窗口长度为 N , 则 $\omega = 2\pi k / N$, 式 (1) 变为

$$S(n, k) = \sum_{m=0}^{N-1} s(m)h(n-m)e^{-j2\pi km/N} \quad (2)$$

STFT 克服了传统傅里叶变换不能反映信号时间信息的缺陷, 是对非平稳信号进行分析和处理的有效数学工具.

2 扬声器响应信号采集方法

2.1 信号采集

扬声器生产为快速、大规模生产. 为提高高音检测速度, 采用 20—1 500—20 Hz 的正弦对数扫频信号连续激励. 其公式表达为

$$s(t) = A \sin(2\pi f_0 \frac{\beta^t - 1}{\ln \beta}) \quad (3)$$

式中: $\beta = (f_1 / f_0)^{\frac{1}{t_1}}$; f_0 、 f_1 为信号的起始和截止频率; t_1 为终止时间; 初始时间一般从 0 时刻开始, 扫频信号的时域波形如图 4 所示.

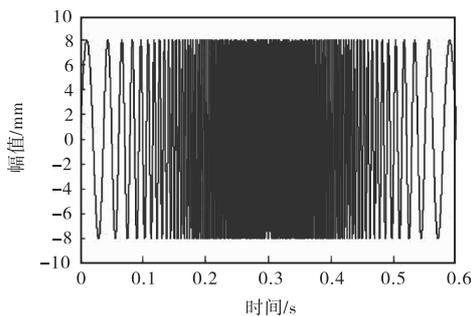


图 4 扫频信号波形图

Fig. 4 Sweep signal waveform diagram

激励信号最高频率为 1 500 Hz, 根据采样定理, 设置激光位移传感器的采样频率为 20 kHz, 为能从振动位移信号中截取一个整周期时域信号, 采集纸盆中心大于 3 个周期的振动位移信号如图 5 所示.

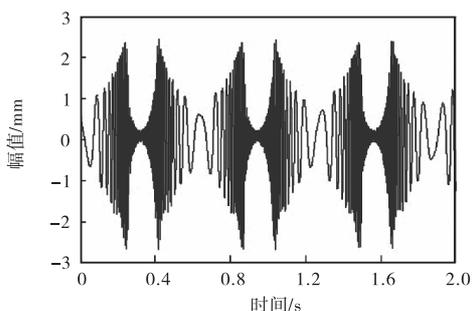


图 5 振动位移信号

Fig. 5 Vibration displacement signal

2.2 信号的单周期获取方法^[6]

为实现扬声器异响故障诊断, 要对一个完整周期的扬声器响应信号进行处理, 因此需要对扬声器的振动位移信号进行单周期截取, 具体过程如下:

(1) 设一个完整的扫频周期为 T , 对扬声器施加大于 3 周期的正弦对数扫频信号, 采集扬声器纸盆中心处振动情况.

(2) 将采集到的信号进行 Hilbert 变换, 求瞬时频率包络线.

(3) 在时间轴上确定 $3T/4$ 和 $3T/2$ 时间点, 从中找出瞬时频率最大点, 记录其时间为 t .

(4) 截取在 $[t - T/2, t + T/2]$ 时间段采集到的响应信号.

单周期截取后的振动位移信号如图 6 所示.

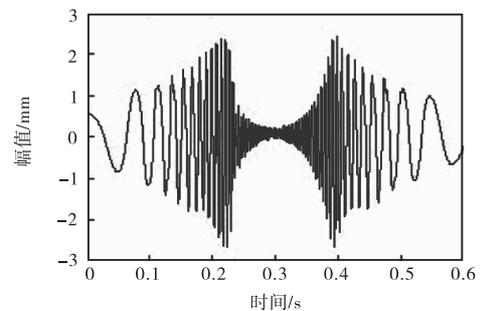


图 6 单周期的振动位移信号

Fig. 6 Single cycle of the vibration displacement signal

3 扬声器响应信号的特征提取及识别方法

3.1 扬声器响应信号短时傅里叶分析

本文信号采集系统采用 20 kHz 的采样频率, 一个完整周期的扬声器振动位移信号采样点数为 12 000 个. 对截取的单周期响应信号进行短时傅里叶变换, 为减少渗漏误差, 窗函数采用 256 个点的汉宁窗, 窗之间的重叠数为 200.

合格扬声器和故障扬声器响应信号的时频图如图 7 所示. 可以看出, 合格扬声器与故障扬声器的位移信号时频图主要区别在于高频区域. 因此, 只考虑图中曲线 1 以上区域进行特征提取与识别.

3.2 特征提取

灰度阈值法是把图像的灰度分成不同的等级, 然后用设置灰度阈值的方法确定有意义的区域或欲分割的物体边界. 对时频图采用多级阈值分割法^[7], 在 $[f, f + 0.1)$ (其中 f 为灰度值, $f = 0, 0.1, 0.2, \dots, 0.9$) 各部分的分割示意图如图 8 所示.

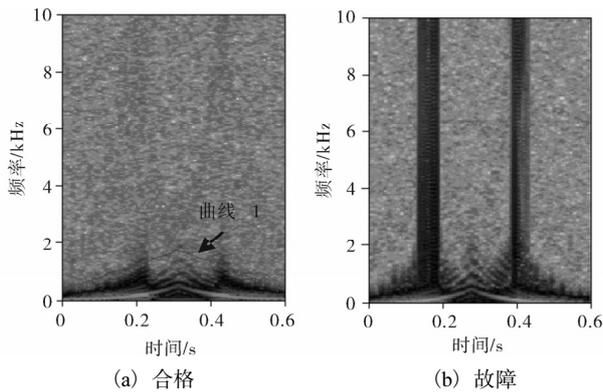


图7 合格扬声器和故障扬声器的时频图

Fig. 7 Time frequency image of good loudspeaker and fault loudspeaker

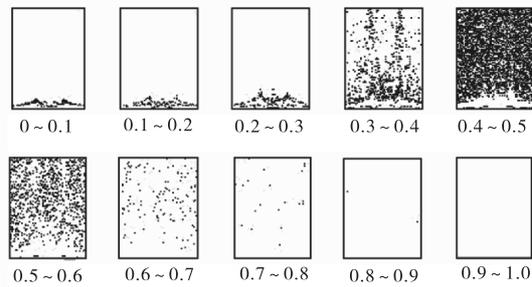


图8 多阈值分割示意图

Fig. 8 Diagram of multi-thresholds segmentation

图8中第4个图到第10个图所对应区间的灰度点分布较散乱, 具有随机性. 且由图9, 图10可以看出合格与故障扬声器时频图区别主要集中在灰度值0~0.3, 且在高频区域, 因此统计时频图中高频区域内且灰度值在0~0.3的所有像素的个数(记为 N), 作为判断扬声器故障的特征值(简称特征值).

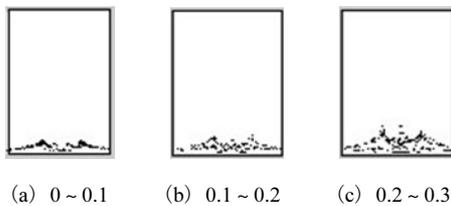


图9 合格扬声器灰度值分布示意图

Fig. 9 Diagram of good loudspeaker's gray value distribution

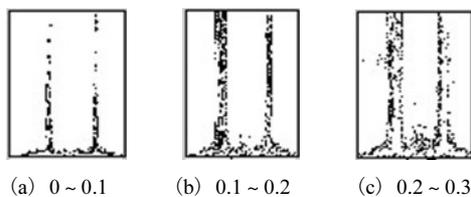


图10 故障扬声器灰度值分布示意图

Fig. 10 Diagram of fault loudspeaker's gray value distribution

4 实验

4.1 确定用于故障检测的特征值

将50个扬声器作为样本, 其中25个为合格扬声器, 25个为故障扬声器, 得到的扬声器特征值 N 的测试结果见表1, N 的分布情况如图11所示.

表1 特征值的实验结果

Tab. 1 Experiment results of characteristic value

无故障扬声器序号	N	故障扬声器序号	N
1	553	1	4 487
2	1 841	2	4 759
3	1 901	3	4 841
4	2 006	4	4 905
5	2 006	5	4 908
6	2 063	6	4 989
7	2 442	7	5 411
8	2 530	8	5 447
9	3 038	9	6 004
10	3 046	10	6 048
11	3 105	11	6 127
12	3 164	12	6 136
13	3 177	13	6 240
14	3 209	14	6 275
15	3 216	15	7 053
16	3 230	16	7 115
17	3 298	17	7 806
18	3 366	18	8 220
19	3 393	19	8 949
20	3 421	20	9 201
21	3 473	21	9 441
22	3 477	22	11 236
23	3 544	23	14 146
24	3 647	24	14 258
25	4 049	25	14 923

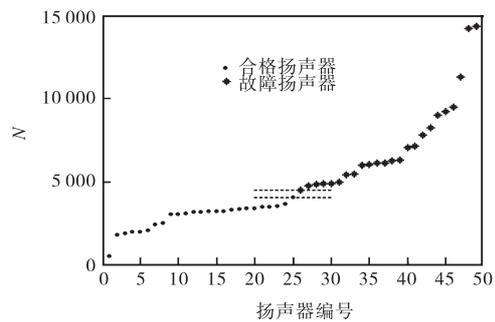


图11 扬声器的特征值分布

Fig. 11 Characteristic value distribution

由图11可以看出, 合格扬声器与故障扬声器具有明显的分布区间, 故障扬声器最小特征值大于合格扬声器最大特征值. 因此可选择略大于合格扬声器

(下转第78页)