

◇ 研究报告 ◇

窗函数在扬声器异常声客观检测中的影响

周晓东 沈勇[†] 薛政 夏洁

(南京大学声学研究所 近代声学教育部重点实验室 南京 210093)

摘要 该文研究了基于短时傅里叶变换的扬声器异常声检测方法中,窗函数对特征距离阈值设定的影响。以连续对数扫频信号激励被测扬声器单元,并对响应信号进行短时傅里叶变换。通过对比不同窗函数下,被测单元之间的特征距离来寻找合适的窗函数。结果表明,不同窗函数下得到的特征距离具有不同的离散度;选择合适的窗函数,可使特征距离具有较大离散度,从而更合理地设定阈值。

关键词 异常声检测,短时傅里叶变换,窗函数,特征距离,阈值

中图法分类号: O42 文献标识码: A 文章编号: 1000-310X(2018)03-0373-05

DOI: 10.11684/j.issn.1000-310X.2018.03.009

The selection of window functions in loudspeaker Rub & Buzz detection

ZHOU Xiaodong SHEN Yong XUE Zheng XIA Jie

(Key Laboratory of Modern Acoustics, MOE, and Institute of Acoustics, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract This paper studies the influence of window function on the threshold setting of feature distance when using short-time Fourier transform STFT for detecting Rub & Buzz of loudspeakers. The tested loudspeakers are excited by a continuous logarithm swept signal, and the measured sound signal is processed with STFT. Different window functions are used and the appropriate window function is found by comparing the feature distance between the measured loudspeakers. The results show that feature distances obtained by using different window functions have different dispersion degrees. An appropriate window function results in higher dispersion, which is beneficial for setting the threshold.

Key words Rub & Buzz detection, Short time Fourier transform, Window function, Feature distance, Threshold

2017-07-31 收稿; 2017-10-06 定稿

作者简介: 周晓东 (1992-), 女, 江苏南通人, 硕士研究生, 研究方向: 声学。

[†] 通讯作者 E-mail: yshen@nju.edu.cn

1 引言

异常声检测是扬声器设计和生产中的重要环节。人工听音法是扬声器异常声检测中的一种重要方法,然而听音员受经验、情绪、注意力、疲劳程度及年龄等因素的影响,对音质的主观感受差别较大,因此难以保证检测结果的一致性^[1]。

为了提高异常声检测结果的一致性及检测效率,国内外学者已经发表了很多关于异常声客观检测的成果,如短时傅里叶变换法、高次谐波提取法、人工神经网络等^[2-7]。其中短时傅里叶变换法经过多年的发展,已渐趋成熟,并成为检测异常声的有效手段。2002年,Davy等^[2]提出对被测扬声器的响应信号进行短时傅里叶变换,然后利用Kolmogorov距离来判断扬声器是否存在异常声;2007年,于德敏等^[3]在短时傅里叶变换和小波变换下,分别利用欧式距离、Kolmogorov距离、Kullback距离等三种距离来检测异常声;2014年,李宏斌等^[4]将短时傅里叶变换得到的时频图分割为若干区域,然后计算被测单元与黄金样品对应区域内的Kolmogorov距离以实现异常声检测。

前人一般通过分析特征距离来检测异常声,且窗函数通常默认为海明窗,而在窗函数的选取对特征距离的影响方面未见研究论文发表。本文重点研究短时傅里叶变换过程中,不同窗函数下被测扬声器单元之间特征距离的离散程度,并根据分析结果,选取合适的窗函数,以提高特征距离的离散程度,从而更加合理地设定阈值。

2 理论分析

2.1 窗函数

数字信号处理中常见的窗函数包括凯泽(Kaiser)窗、高斯(Gaussian)窗、平顶(Flat top)窗、布莱克曼(Blackman)窗、汉宁(Hanning)窗、海明(Hamming)窗、三角形(Bartlett)窗、矩形(Rectangle)窗等^[8-9]。列出部分窗函数对应的时域图、频域图,分别如图1与图2所示。

不同窗函数的频域形状不同,例如矩形窗的主瓣较窄,旁瓣峰值衰减小;平顶窗的主瓣比矩形窗宽,但旁瓣峰值衰减大。根据卷积的性质,当窗函数的频谱越接近冲激函数时,加窗序列的频谱与原序

列的频谱就越接近。因此在选择窗函数时应尽量遵循以下两点要求:主瓣窄,使得能量集中在主瓣中;旁瓣峰值衰减大,以减少谱泄露。但这两个要求无法同时满足,应根据实际情况权衡两者之间的关系,选择合适的窗函数。因此在做异常声检测时,本文结合窗函数的选择原则及单元间特征距离的离散度来选择合适的窗函数。

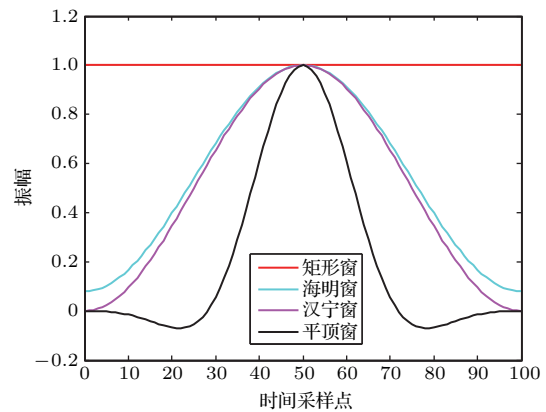


图1 不同窗函数的时域图

Fig. 1 Different window functions in time domain

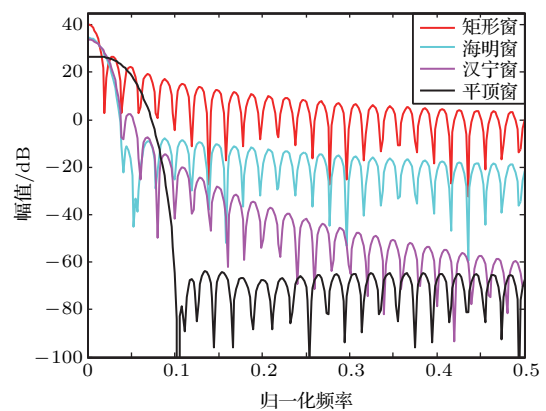


图2 不同窗函数的频域图

Fig. 2 Different window functions in frequency domain

2.2 特征距离计算

常用的特征距离有欧式距离、Kolmogorov距离及Kullback距离等。为便于分析,本文以欧式距离为例来证明窗函数对特征距离离散度的影响。设定好窗函数,对数据进行短时傅里叶变换处理,得到二维时频矩阵 $S(i, j)$,其中 i, j 分别对应时间和频率。再对 $S(i, j)$ 进行归一化处理:

$$S(i, j)_{\text{norm}} = \frac{S(i, j) - S_{\text{max}}}{S_{\text{max}} - S_{\text{min}}} \times \tau, \quad (1)$$

其中, S_{\max} 、 S_{\min} 分别为矩阵 $S(i, j)$ 中的最大值和最小值; τ 为放大因子, 放大因子的选取对特征距离的离散度没有影响, 本文选取 $\tau = 128$ 。

完成归一化处理求出所有良品的归一化二维时频矩阵的平均值 \bar{S} , 并将其作为标准矩阵。接下来求出每个单元的归一化矩阵与标准矩阵之间的欧式距离:

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^{N_r} \sum_{j=1}^{N_c} [S(i, j)_{\text{norm}} - \bar{S}]^2},$$

$$M = N_r \times N_c, \quad (2)$$

其中, N_r 、 N_c 分别为二维时频矩阵的行数和列数。

通过改变窗函数, 观察欧式距离离散度的变化, 寻找有利于提高离散度的窗函数。

3 实验测量及数据分析

3.1 实验测量

为了验证合适的窗函数有助于更合理地设定阈值, 作者在南京大学消声室进行测量实验。测量原理如图3所示, 测量仪器为B&K Pulse系统, QSC PLX 3602功率放大器及B&K4191传声器; 测量对象为19个尺寸为15 mm×11 mm的微型扬声器单元, 其中包括7个良品和12个不良品(有异常声); 测量传声器置于单元中心正前方10 cm处。本实验采用频率范围为100 Hz~20 kHz的连续对数扫频信号激励被测扬声器单元, 激励时长为2 s。通过此实验, 将得到19组时域响应数据。

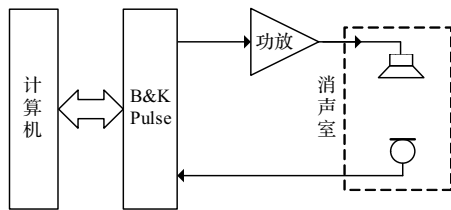


图3 测量原理图

Fig. 3 Schematic diagram of measurement

3.2 数据分析

首先将19组时域响应数据进行短时傅里叶变换, 得到19个二维时频矩阵 $S(i, j)$ 。再根据式(1)对 $S(i, j)$ 进行归一化处理, 完成归一化后将所有良品的归一化二维时频矩阵 S_{norm} 进行平均得到标准矩阵 \bar{S} 。接下来根据式(2)求19组归一化矩阵

S_{norm} 与 \bar{S} 之间的欧式距离。最后改变窗函数, 对比不同窗函数下的欧式距离。

本文选取窗长 $N = 1024$, 研究了凯泽窗 ($\beta = 48$)、高斯窗 ($\alpha = 7$)、平顶窗、布莱克曼窗、汉宁窗、海明窗、三角形窗、矩形窗等八种窗函数对欧式距离离散度的影响, 结果依次见图4。研究发现除凯泽窗和高斯窗外, 平顶窗下的离散度最大。而凯泽窗和高斯窗具有参数调节因子, 当凯泽窗的自由参数 $\beta \geq 48$ 、高斯窗的自由参数 $\alpha \geq 7$ 时, 所得欧式距离的离散度均优于平顶窗。

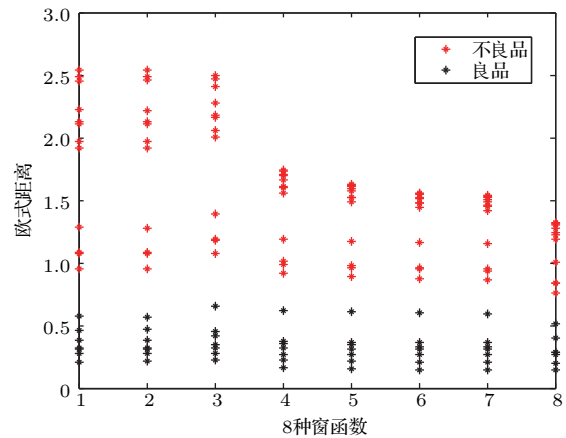


图4 不同窗函数下欧式距离分布图

Fig. 4 The distribution of Euclidean distances under different window functions

由前面的分析可知, 当选择凯泽窗 ($\beta = 48$)、高斯窗 ($\alpha = 7$) 和平顶窗时, 19组欧式距离间的离散度相对较大。上述三种窗函数的时域图及频谱图分别如图5、图6及图7所示。

对比图5、图6和图7, 可明显看出平顶窗的主瓣比凯泽窗 ($\beta = 48$) 和高斯窗 ($\alpha = 7$) 的主瓣窄, 而其旁瓣峰值衰减较另外两种窗函数小。此时平顶窗的旁瓣峰值衰减为93.6 dB, 衰减已经足够大, 故综合考虑主瓣宽及旁瓣衰减并结合窗函数的选择原则及前面的欧式距离离散度分析, 本次实验选择的最佳窗函数为平顶窗。

当选择平顶窗时, 可设定特征距离的阈值为0.7, 即与标准矩阵之间的欧式距离大于0.7的单元为异常声单元, 否则为良品。此时的检测结果也符合实际。而当选择矩形窗等窗函数时, 特征距离离散度较小, 阈值附近的单元难以区分, 因此阈值的设定较困难, 需要多次改变阈值的大小, 来找到最佳阈值。

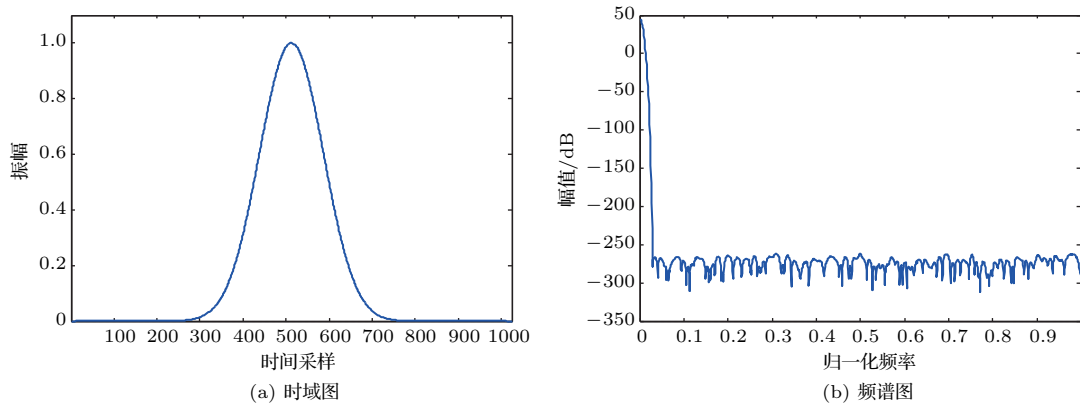


图5 凯泽窗 ($\beta=48$) 的时域图和频谱图

Fig. 5 Kaiser window($\beta=48$) in time domain and frequency domain

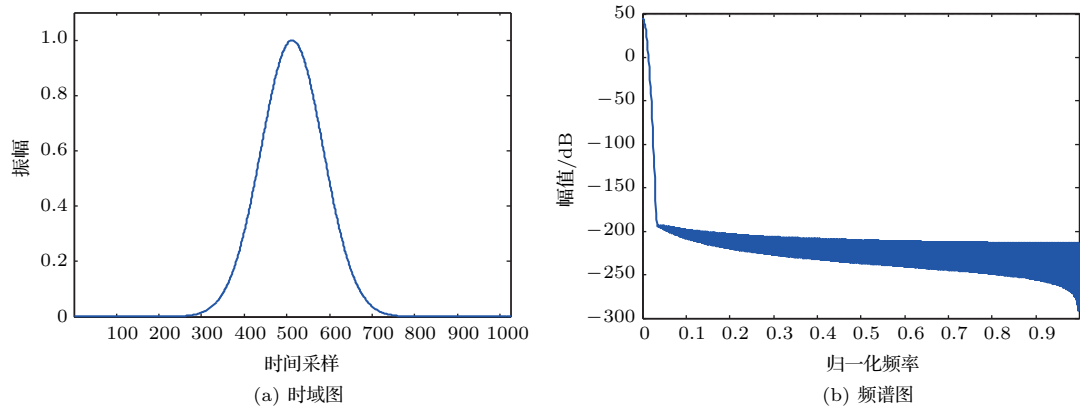


图6 高斯窗 ($\alpha=7$) 的时域图和频谱图

Fig. 6 Gaussian window($\alpha=7$) in time domain and frequency domain

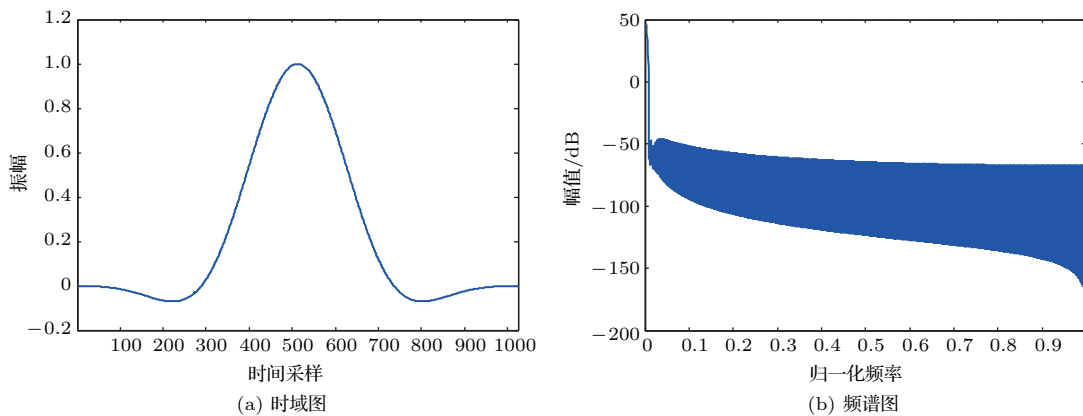


图7 平顶窗的时域图和频谱图

Fig. 7 Flattop window in time domain and frequency domain

4 结论

本文针对扬声器异常声检测中的典型方法——短时傅里叶变换法,提出了窗函数选取的重要性。

本文的研究分析以连续对数扫频信号激励被测单元,首先对响应信号进行短时傅里叶变换得到二维时频矩阵,并计算其与标准矩阵之间的特征距离,再改变短时傅里叶变换中的窗函数,对比不同窗函数下被测单元之间特征距离的离散度,由图4可知选

用凯泽窗($\beta = 48$)、高斯窗($\alpha = 7$)和平顶窗时,19组欧式距离间的离散度相对较大,最后对比上述三种窗函数的主瓣宽及旁瓣衰减,可知平顶窗较凯泽窗($\beta = 48$)和高斯窗($\alpha = 7$)的主瓣窄且旁瓣衰减足够大,因此本文所选取的最佳窗函数为平顶窗。本文的研究分析结果表明,选取不同的窗函数,被测单元之间特征距离的离散度有所不同,而合适的窗函数,可以明显提高特征距离的离散度,从而更合理地设定阈值。

参 考 文 献

- [1] Klippel W, Irrgang S, Seidel U. Loudspeaker testing at the production line[C]. Audio Engineering Society Convention, 2006.
- [2] Davy M, Doncarli C. A new nonstationary test procedure for improved loudspeaker fault detection[J]. Journal of the Audio Engineering Society, 2002, 50(6): 458-469.
- [3] 于德敏, 李小明, 许增朴. 基于时频分析的扬声器异音故障诊断方法[J]. 电声技术, 2007, 31(11): 24-27.
Yu Demin, Li Xiaoming, Xu Zengpu. Loudspeaker fault diagnosis method based on time-frequency transform of acoustic signal[J]. Audio Engineering, 2007, 31(11): 24-27.
- [4] 李宏斌, 徐楚林, 温周斌. 基于短时傅里叶变换的异常音检测方法[J]. 声学技术, 2014, 33(2): 145-149.
Li Hongbin, Xu Chulin, Wen Zhoubin. A STFT based method for detecting Rub & Buzz defects of loudspeaker and its application research[J]. Technical Acoustics, 2014, 33(2): 145-149.
- [5] Wang L H, Zhang Q D, Zhang Y H, et al. The time-frequency resolution of short time Fourier transform based on multi-window functions[J]. Advanced Materials Research, 2011, 214: 122-127.
- [6] Temme S, Member A, Brunet P. A new method for measuring distortion using a multitone stimulus and non-coherence[J]. Journal of the Audio Engineering Society, 2008, 56(3): 176-188.
- [7] Brunet P, Fallon B, Temme S, et al. Practical implementation of perceptual Rub & Buzz distortion and experimental results[C]. Acoustical Measurements, 2010.
- [8] 程佩青. 数字信号处理教程[M]. 4版. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [9] Zhong J G. Time-frequency representation based on an adaptive short-time Fourier transform[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2010, 58(10): 5118-5128.