

拖拉机发动机信号降噪与分离处理新方法

王丽 吕苗荣 王茜 刘亚军 (江苏工业学院机械系, 江苏常州213016)

摘要 介绍了一种处理信号的新方法——模式滤波法, 将该方法应用于拖拉机发动机信号的处理中, 可实现信号与噪声合理、完整的分离, 不仅为有效地去除发动机信号中的噪声奠定了基础, 也为拖拉机发动机的故障诊断研究提供了理论参考。

关键词 发动机; 模式滤波法; 信号处理; 声音子

中图分类号 S219.1 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2009)01-00283-03

A New Method of Noise Reduction and Separation for Tractor Engine Signal

WANG Li et al (Mechanical Department, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou, Jiangsu 213016)

Abstract A new method which is called the Pattern Filter Theory (PFT) was introduced in this paper. Applying it to process signal of tractor engine, signals and noises could be integrally and reasonably separated. The study provided the foundation to effective reduction of the tractor engine noises and theoretical reference to study on fault diagnosis of tractor engine.

Key words Engine; The Pattern Filter Theory; Signal processing; Phonetic operator

目前, 随着农村经济的发展, 农业机械已作为主要的生产工具进入了我国的千家万户, 农业技术的普及、小型农机具的大力发展, 使广大农民从农业机械上获得了利益, 调动了农民购置农机工具的积极性, 农机化发展进入了一个大好时期。其中, 拖拉机不仅是农耕的主要工具, 而且也是目前农村的主要运输工具, 因此, 拖拉机在农机需求量中占很大的比例。

但是, 拖拉机的噪音大是客观存在的事实。一般拖拉机驾驶员耳旁噪音应控制在90 dB左右, 而国产的拖拉机都超出10 dB^[1]。据测试, 出厂手扶拖拉机的噪音是110 dB左右, 尤其是使用一段时间后的许多拖拉机噪音超过120 dB, 严重损害人的身心健康, 影响驾驶效率, 危及行驶安全^[2]。目前, 大多数拖拉机发动机采用的是柴油发动机, 而柴油发动机是拖拉机的主要噪声源, 因此, 采取切实有效的措施, 降低拖拉机发动机的噪音是摆在农业科技工作者面前的一个严峻的课题。

要降低噪声就必须了解噪声的根源, 需要实现各种时域和频域混叠信号的分离处理。信号的降噪、去噪和分离是一件非常重要的基础性工作。传统的去噪方法比较多, 基本上可以分成2大类, 即基于频域的维纳滤波和基于时域的卡尔曼滤波^[3]。要将2个或多个在时域和(或)频域上互不相干的信号分开是很容易的, 但信号与信号, 或信号与噪声一旦发生重叠, 要实现完全的分离几乎是不可能的^[4]; 即使分离, 分离后的信号也会产生一定的畸变。笔者将引入一种可以实现信号完整分离的新方法——模式滤波法进行研究。

1 模式滤波的基本原理

1.1 基本概念 模式滤波就是从信号的物理特性出发来建立合理的信号模型, 并将该模型看成是一个操作单元或操作子; 采用最优化的方法从实际的信号中提取得到一系列模型参数, 使信号转化为由一系列操作单元表示的子信号; 通过对这些操作单元进行合理的选择和分类整理, 来实现信号的提取、分离和降噪处理。

在声信号处理领域, 笔者将这些操作单元称为声音子。

研究表明, 可以将信号看成是由声音子以时间为轴线、按一定的方式排列、相互叠加作用的结果。实践表明, 只要选择合适就可以将信号分解成为一系列声音子。更为重要的是, 可以利用获得的声音子对信号进行各种操作和处理。通过大量的比较研究, 笔者提出了以下形式的声音子^[5]:

$$p(t) = f(A, \phi, t) \times g\left(\sum_{i=1}^n \alpha_i \times t^{i-1}\right) \quad (1)$$

式中, p 是声音子函数; f 是调幅函数; g 是调频函数。从具体的物理含义出发可以认为 A 是振幅, 物理单位要根据实际的测量情况而定; ϕ 是声音子衰减因子; α_i 为系数; t 为时间 (s)。该研究从一般意义出发, 称 ϕ_1 为初始相位; ϕ_2 为角速度系数。各系数所对应的量纲需要根据具体的计算公式确定。为了降低处理的难度, 一般取 $n=3$ 。

模式滤波的基本思想就是将信号分解为由一系列操作单元表示的子信号(或声音子), 并按照下式来逼近或近似实际的信号:

$$y(t) = \sum_{i=1}^m P_i(t) = \sum_{i=1}^m f(A_i, \phi_i, t) \times g\left(\sum_{j=1}^n \alpha_{ij} t^{j-1}\right) \quad (2)$$

式中, A_i 、 ϕ_i 、 α_{ij} 等系数是通过实际信号 $F(t)$ 的最优化逼近计算来确定的。通过对式(2)的 m 个有限操作单元进行合理的选择和分类整理, 来实现信号的提取、分离和降噪处理。

实践表明, 利用式(2)得到的声音子以及这些声音子的各种组合, 可以形成各种合理、完整的分离信号。关于信号合理和完整性的论述, 参见文献[6]。

1.2 工程信号模式滤波处理

1.2.1 操作单元模型参数的计算。 利用最优化理论, 可以在一定精度的限制下从工程信号中提取得到一系列的声音子。声音子参数提取最优化问题的具体描述如下:

$$\min: \int_{i=1}^N |Y_j - y_j(t)|^2 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & 0 \leq A_j \leq A_{\max} \\ \text{s.t. } & 0 \leq \alpha_{kj} \leq \alpha_{\max} \quad (4) \\ & k_{\min} \leq k_j \leq k_{\max} \quad (1 \leq k \leq 3) \end{aligned}$$

式中, Y_j 是第 j 个声音子的剩余信号, A_j 、 α_{kj} 、 k_j 是第 j 个声音子参数。所谓第 j 个声音子的剩余信号是指原信号经过前面 $j-1$ 次优化抽取计算后信号的剩余量。

只需要采用常用的约束最优化方法就可以计算得到最优的模型参数。这是一个多步迭代循环计算过程。当剩余

信号的能量小于一定幅度时, 计算终止。

形象而言, 求解最优化问题式(3)、式(4)的过程就相当于对信号选用了不同目数的(,)筛子, 按声音子的模式进行筛选和过滤处理, 故形象地将这种方法称为模式滤波。研究表明, 声信号经过模式滤波后的声音子可以非常逼真地模拟出原始声信号, 并且能够在给定的精度下快速地过滤随机的背景噪声。

1.2.2 声音子的显示和处理。经过模式滤波计算之后, 对信号的进一步加工处理是利用专门开发的模式滤波软件来完成的。例如, 图1(A)的一个金属冲击信号经过模式滤波处理后, 可以得到声音子在 (t, β_2, A) 三维坐标中的分布结果(见图1(C)), 相应的背景噪声参见图1(B)。从图1上可以看

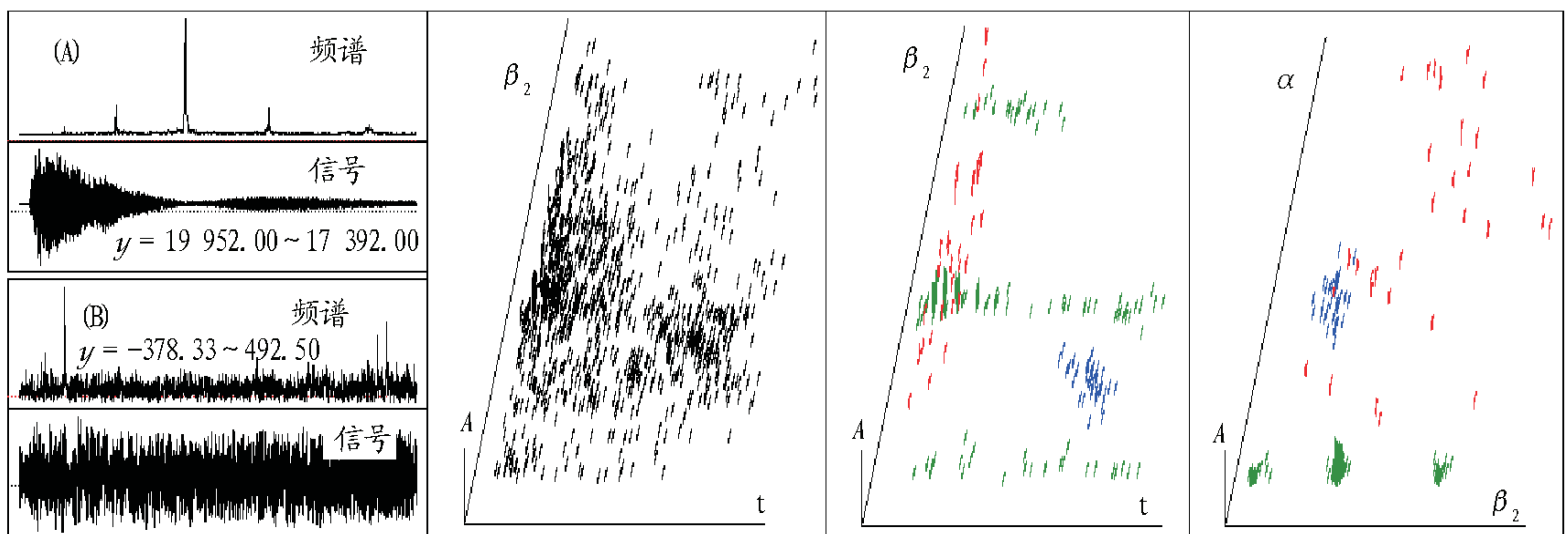


图1 冲击信号的模式滤波处理结果实例

Fig.1 The phonic filtered nodd of "yào" and noithness treat next frequency chart

1.2.3 模式滤波在降噪和去噪中的应用。文献[5]的研究表明, 通过对声信号的模式滤波处理, 可以获得一系列的声音子。这些声音子本身是一个独立、完整的信号。对于存在混叠和相互干扰的某个时段声信号, 就可以看成是各种声音子在相应的时间范围内相互叠加作用的结果。采用模式滤波的方法提取得到不同幅度限制的声音子后, 剩余信号就可以认为是背景噪声。背景噪声的强弱是由模式滤波过程中滤波门限的高低决定的, 笔者称这些噪声为一次滤波噪声, 这样的处理为一次模式滤波。在图1模式滤波计算结果的基础上, 可以对声音子开展各种有效的操作。例如, 在尽可能保持原有声音不变的情况下, 进行声音子的分类选择和删除处理, 从而得到图1(D)和图1(E)能够逼真地模仿原始信号的声音子选择结果。

显然, 经过一次滤波后提取得到的信号中还会或多或少地存在噪声的干扰。但是可以对声音子进行各种组合、优选、内插和平滑处理, 并通过测试实际声音效果来逐步排除残余的噪声, 称这些残余噪声为二次噪声。经过二次模式滤波后, 可以得到各类声音子规律分布的处理结果, 这些声音子系列具有明显的物理含义, 并能够逼真地模拟实际的信号, 图1(D)就是这样的一个典型实例。

2 模式滤波处理的应用

2.1 拖拉机发动机信号的降噪处理 笔者用韩国生产的CENX高档录音笔对拖拉机发动机信号进行录制, 此录音笔的采样率为12 000 Hz。为了保证信号采集的质量, 采用了HQ(高保真)录音方式来录制信号。录制的信号首先以TSH格式压缩保存, 通过将压缩后的音频文件上传到计算机, 然

出, 原数字信号的幅度范围- 19 952.00 ~ 17 392.00, 而背景噪声的幅度范围是- 378.33 ~ 492.50。由于各种参数的量纲和数值大小均不影响图中的显示效果, 为方便起见笔者进行了省略处理。

混叠在一起的信号肯定存在着各种各样的差异, 可以利用信号声音子提取结果在各种组合坐标系中进行显示来找出它们之间的差异, 并实现信号的合理分离。例如图1(D)和图1(E)就是同样的声音子, 是在 (t, β_2, A) 和 (β_2, α, A) 三维坐标系中的显示结果。图1(C)、图1(D)和原信号的声音效果非常接近, 工程上完全可以用图1(D)的结果去代替图1(C), 甚至原信号(A)。

后将TSH转换位WAV格式。再用信号切分软件SpeechSignalPS.exe将WAV格式读入, 按需求对文件进行切分, 取出需要的信号, 然后以dat格式保存。最后再用信号处理软件SignalCharacP.exe调入dat文件, 对信号进行去噪处理。

图2是对发动机信号进行一次模式滤波处理后的结果。其中图2(A)信号的振幅区间为 $[-22\,428.00, 20\,310.00]$, 在设定的振幅下限为200的条件下对信号进行模型参数计算, 提取了声音子之后得到了图2(B)的初步处理结果, 相应的噪声参见图2(C)。从图2可以看出, 采用模式滤波方法能够非常有效地排除背景干扰。

采用模式滤波方法提取得到不同幅度门限限制的声音子后, 剩余的信号就可以认为是背景噪声。背景噪声的强弱是由模式滤波过程中滤波门限的高低决定的, 称这些噪声为一次滤波噪声, 对应的滤波信号被称为一次滤波信号。

显然, 经过一次滤波后提取得到的信号中还会或多或少地存在噪声的干扰。但笔者可以对声音子进行各种组合、优选、内插和平滑处理, 并通过测试实际声音效果来逐步排除残余的噪声。经过二次或多次模式滤波后, 可以得到各类声音子呈规律分布处理结果, 这些声音子系列具有明显的物理含义, 并能够逼真地模拟实际的信号。由图3可见, 主要信号都集中在线框选择区域内线框以外的数据点为噪声信号, 可以去除, 从而达到降噪的目的。

这是在参数 β_2 坐标下得到的信号的主要声音子, 如果将坐标转换, 同样也可以发现这些信号的分布非常有规律。因为存在这些规律, 所以笔者将发动机运转的特征信号(即有用信号)提取出来, 并且把噪声信号去除并不是一件困

难的事。接下来进一步提取主要声音子,从而进行去噪处理。最后得到拖拉机发动机信号的有规律的最终声音子如图4所示,是在参数 $t-2$ 坐标下得到的信号的最终声音子。图5则是处理得到的拖拉机发动机的最终信号,从图5可以

看出,用模式滤波法处理得到的拖拉机发动机的最终信号比其初始信号要平滑得多,而从声音上判断,处理后的信号比原始信号噪声明显降低。

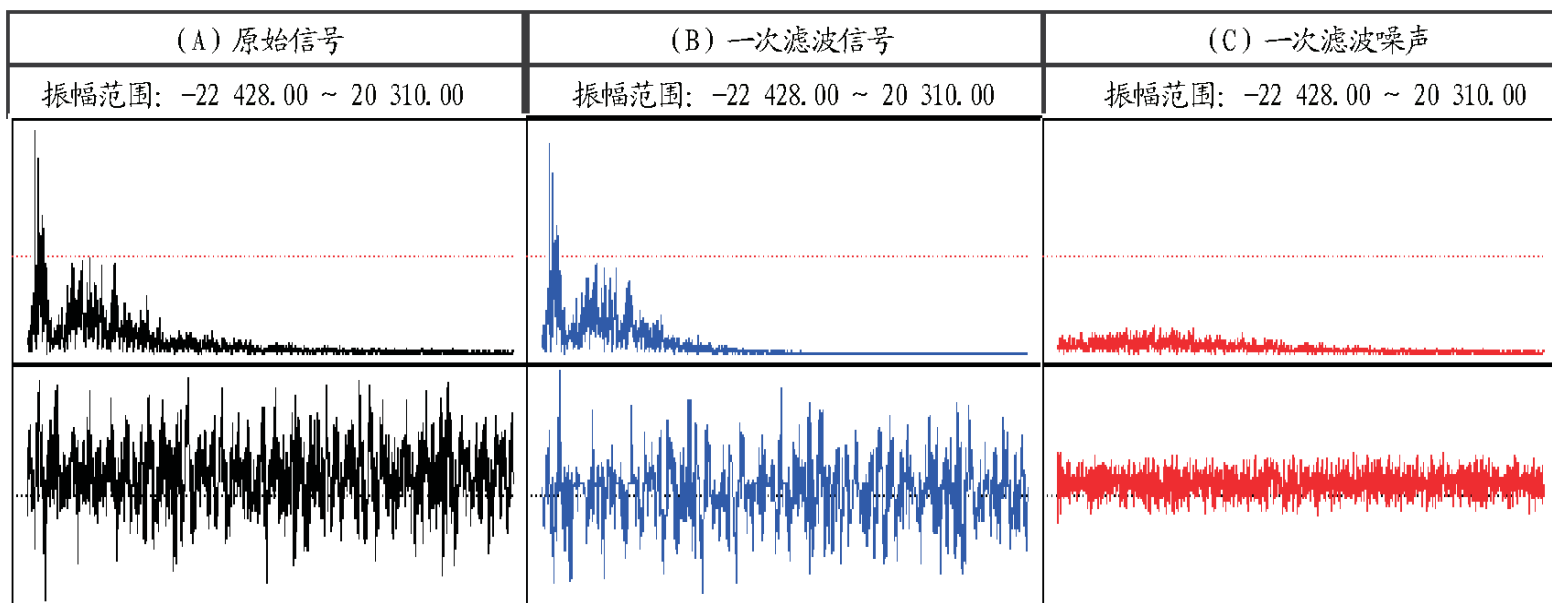


图2 拖拉机发动机的原始信号以及经模式滤波后的处理信号与背景噪声

Fig.2 Original signals of the tractor engine, the filtered model treated signals and the background noise

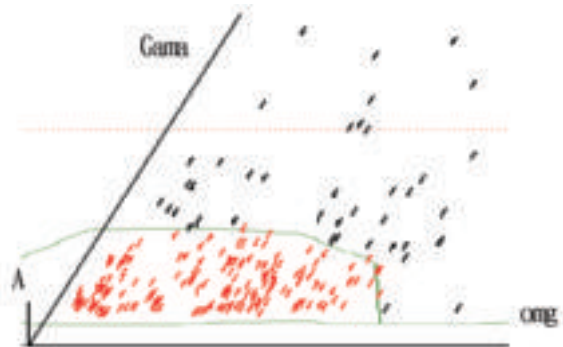


图3 拖拉机发动机信号的主要声音子提取

Fig.3 Main sound extraction of the tractor engines signals

2.2 信号的音频测试 利用文献[7]提供的方法,笔者在任何需要的时候将模式滤波处理结果转换为数字信号进行耳听测试,因此在模式滤波处理的全过程中随时都可以检验处理的效果和质量,从而极大地提高了信号处理的针对性和处理效率。

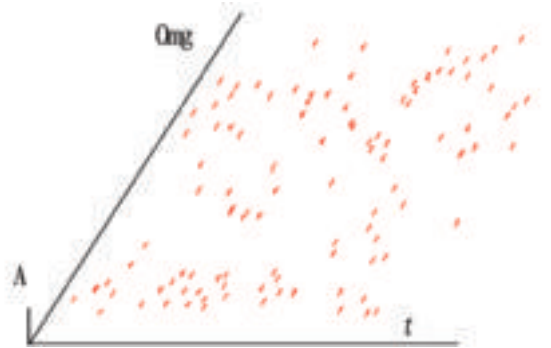


图4 拖拉机发动机信号提取的最终声音子

Fig.4 Final sound extraction of the tractor engines signals



图5 拖拉机发动机处理后的最终信号

Fig.5 Final signal of tractor engines after treatment

3 结论

信号的模式滤波法是一种信号处理新方法,笔者将处理语音信号的成功经验和方法应用于拖拉机发动机信号的处理,通过研究可以得出以下几点结论。

(1) 模式滤波法是一种新的信号处理方法,通过信号的模式滤波计算可以快速地去掉背景噪声的干扰,而信号的多次模式滤波处理可以合理分离各种混叠在一起的信号。只要信号与噪声、信号与信号之间存在一定的差异性,就可以利用模式滤波方法来分离信号。

(2) 模式滤波的实质是对声音子的选择性操作,将中选和未中选声音子分别计算信号音频,通过耳听测试可以极大地提高信号处理的质量和效率。

(3) 模式滤波法可以成功地用于拖拉机发动机信号的处理,排除各种噪声的干扰,从而为快速、准确地检测和诊断发动机故障创造了条件。

作为一种新的信号处理方法,还有许多不完善之处。如何降低模式滤波计算的工作量,提高信号处理的快速反应能力是今后需要完善的首要问题。

参考文献

- [1] 李红伟. 集材—80 拖拉机噪音和振动的分析[J]. 农机化研究,2005,3(2):288.
- [2] 前进. 浅谈拖拉机噪音的危害及其防范措施[J]. 青海农技推广,2006(2):55.
- [3] 邓自立. 最优滤波理论及其应用——现代时间序列分析方法[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2000.
- [4] L·科恩. 时—频分析:理论与应用[M]. 白居宪,译. 西安:西安交通大学出版社,1998.
- [5] 吕苗荣. 工程信号处理最优化理论的研究应用——语音信号处理新方法探索[R]. 长沙:中南大学,2006.
- [6] 吕苗荣,古德生. 声信号分离基本原则与分离方法[J]. 中南大学学报:自然科学版,2004,35(1):62-66.
- [7] 黄仁东,徐国元,刘敦文,等. 运用信号声音提高声波成析成像探测的针对性[J]. 西部探矿工程,2005,107(4):1-2.