

Matlab 在发动机故障诊断中的应用研究

袁华智, 陈 昊, 李 兵, 哈里德

(长安大学 汽车学院, 陕西 西安 710064)

摘要:以电控汽油机转速传感器为例,探讨了小波分析技术在发动机故障诊断中的应用。首先采集了转速传感器正常和异常信号,并对采集到的信号进行小波分析,结果表明,利用小波系数可以分析转速信号,判断发动机断缸故障;转速信号的小波分析结果能对比发动机各缸的工作性能。实践证明利用小波分析对电控发动机进行故障诊断是切实可行的。

关键词:汽车工程;电控发动机;转速传感器;小波分析;故障诊断

中图分类号:TP39 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2008)02-0010-04

计算机与信息技术的发展使得汽车故障诊断技术发生了实质性的变革,现代汽车的检测、诊断与维修已不再是传统意义上的仅凭经验和手工操作就能完成的工作了,如何从机械、电子等全方位的角度对汽车进行故障诊断是目前热门的研究方向。而在汽车故障诊断技术中,小波分析是一项非常热门的技术,它具有良好的时频局部化特性,处理时变信号具有独特的优越性,在机械设备的故障诊断,尤其是在瞬变信号的处理中得到了日益广泛的重视和应用^[1-2]。本文以电控发动机断缸故障为例,探讨 Matlab 小波分析在发动机故障诊断中应用的可行性。

1 试验用发动机

本实验主要是采集和记录转速传感器正常和异常信号,然后利用小波分析技术分析判断转速传感器是否正常工作对发动机性能的影响。实验在 Volvo B230F 型电控汽油喷射式发动机上进行。排量 2.32 L,缸径 96 mm,行程 80 mm,额定功率 85 kW(5400 r/min)。

2 转速波形信号的小波分析

2.1 小波除噪

由于各状态下的转速波形具有明显的干扰现象,而干扰对故障特征参数的提取有影响,所以应除去干扰信号。利用小波变换优良的波滤性能除

去干扰信号,获取不同状态时的特征信息。小波的多尺度分解能提供有效的除噪工具^[3-5]。

图 1 是小波变换的一层滤波原理图,原始转速信号 S 通过两个互补对称滤波器后,得到高、低频率的两路信号。

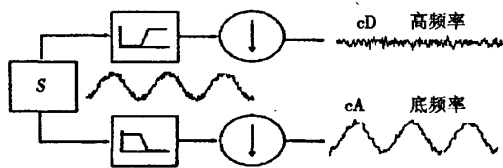


图 1 信号的滤波过程

Fig. 1 Wave filtering course of signal

利用“dmey”小波,对发动机转速正常和异常信号进行三层除噪,结果如图 2 和图 3 所示。

图中 S 是原始正常和异常信号, d_1 、 d_2 、 d_3 是正常和异常转速信号的高频率部分(噪声), a_3 是正常和异常转速信号的低频率部分或滤波后的信号。

2.2 利用连续小波变换分析正常和异常怠速转速信号

2.2.1 转速信号小波变换

从图 2 和图 3 可以看出,转速信号除噪后,由于发动机飞轮系统的惯性稳速作用,转速传感器的信号灵敏度低,所以滤波后必须进行处理。本文利用 Matlab 6.5 软件的一维连续小波变换工具,通过“haar”小波计算出正常和异常信号的小

收稿日期:2007-12-27

作者简介:袁华智(1982-)男,江苏泰州人,博士研究生,主要研究方向为交通新能源和发动机故障诊断。

波变换系数,信号处理结果如表 1、图 4 和图 5 所示。

图 4 为滤波后转速正常信号(上面)和其一

维连续小波变换系数线(下面)。从图中可以看出,在发动机正常工况下,曲轴每转两转(720°),

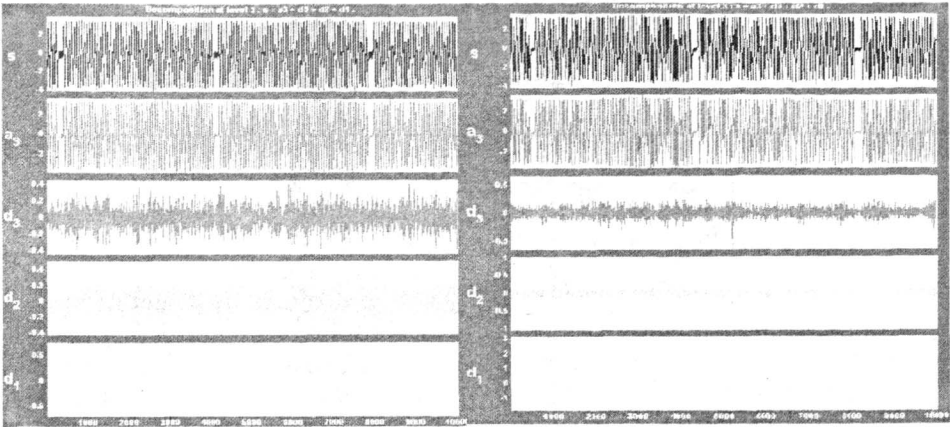


图 2 除噪后的正常转速信号和噪声图

图 3 除噪后的异常转速信号和噪声

Fig. 2 Normal speed signal after eliminating noise

Fig. 3 Abnormal speed signal after eliminating noise

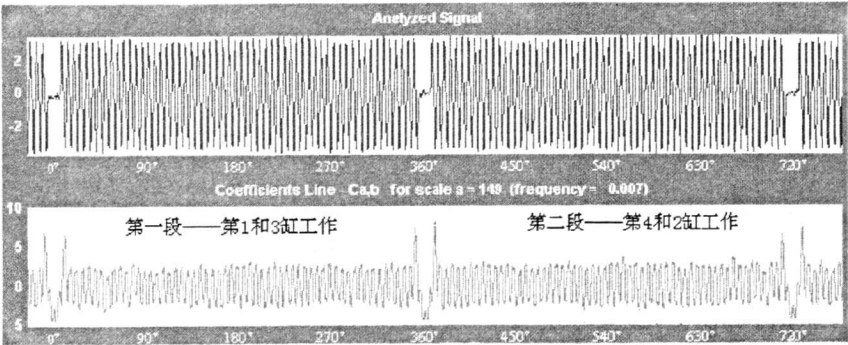


图 4 转速正常信号和其小波系数线

Fig. 4 Normal speed signal of speed and its small wave curve

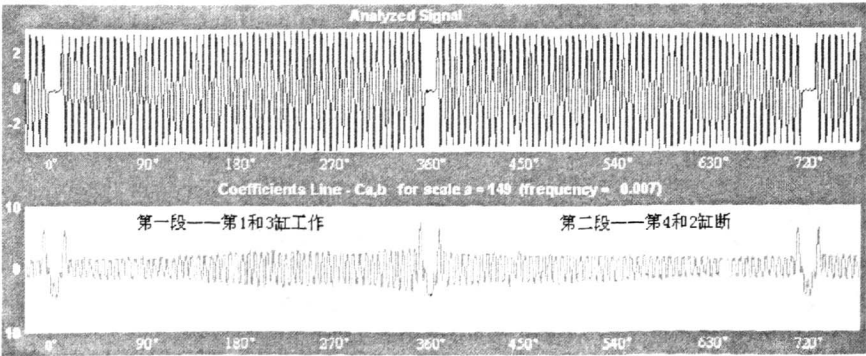


图 5 转速异常信号和其小波数线

Fig. 5 Abnormal speed signal of speed and its small wave curve

表 1 正常和异常信号的小波系数的最大值

Table 1 Maximal small wave coefficient of normal and abnormal signal

第一段(1 和 3 缸)					第二段(4 和 2 缸)				
飞轮上的孔号	小波系数最大值		飞轮上的孔号	小波系数最大值		飞轮上的孔号	小波系数最大值		飞轮上的孔号
	正常	异常		正常	异常		正常	异常	
空	-4.59	-4.89	29	2.58	2.28	空	-4.89	-4.76	29
空	-4.59	-4.89	30	2.91	2.50	空	-4.89	-4.76	30
1	6.49	5.98	31	2.74	2.50	1	7.72	6.82	31
2	2.42	1.41	32	1.93	2.50	2	2.72	2.74	32
3	2.6	1.20	33	2.26	2.50	3	2.07	2.74	33
4	2.09	1.63	34	2.58	2.72	4	2.50	2.42	34
5	2.58	1.41	35	2.42	2.50	5	2.09	2.09	35
6	2.09	1.41	36	2.42	2.50	6	2.09	2.09	36
7	2.09	1.41	37	2.42	2.72	7	2.72	2.09	37
8	1.28	1.41	38	2.42	2.72	8	2.50	2.09	38
9	2.42	1.63	39	2.42	2.5	9	2.93	2.42	39
10	2.58	1.41	40	2.26	2.72	10	2.28	2.42	40
11	2.09	1.63	41	2.26	2.72	11	2.22	1.93	41
12	1.93	1.20	42	2.42	2.50	12	2.28	1.93	42
13	1.93	1.63	43	2.58	2.72	13	2.50	1.44	43
14	1.77	1.20	44	2.42	2.07	14	2.28	2.58	44
15	2.26	1.20	45	2.09	2.50	15	1.63	1.93	45
16	1.77	1.63	46	2.09	2.28	16	2.50	1.93	46
17	1.60	1.41	47	2.26	2.28	17	2.07	1.93	47
18	2.09	1.63	48	2.58	2.28	18	2.07	2.09	48
19	2.09	1.63	49	1.93	2.50	19	2.07	2.26	49
20	1.77	1.85	50	2.09	2.50	20	2.50	1.93	50
21	1.77	1.85	51	2.09	2.72	21	2.50	2.26	51
22	2.42	2.07	52	2.58	2.93	22	2.28	2.09	52
23	2.09	1.85	53	2.91	2.93	23	2.93	1.93	53
24	1.93	1.63	54	2.09	2.93	24	2.50	1.93	54
25	1.93	2.28	55	2.26	2.93	25	2.28	1.93	55
26	2.58	2.28	56	2.58	3.15	26	1.85	1.93	56
27	2.58	2.50	57	2.63	3.15	27	2.28	1.93	57
28	2.42	2.50	58	6.98	7.28	28	2.28	1.77	58

由于各缸的工作性能差不多一样,再加上发动机飞轮系统的惯性稳速作用,转速信号小波系数线的幅值变化均匀。

图 5 为发动机第 4 和 2 缸断油时的转速信号(上面)和转速信号小波系数线。从小波系数线能看清楚:在第二段,当两个缸不工作时,发动机转速下降,转速信号幅值下降,转速信号的一个脉冲的周期变大,信号小波系数幅值慢慢地变小;在第一段,转速信号小波系数线变化不均匀,曲轴转角 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}\text{CA}$ 内幅值小,第 1 缸开始工作(转角 90°CA 左右)时,转速增大。同时,信号幅值和小

波系数幅值也增加。

从图 4 和图 5 也能看出,发动机转速较高的范围内信号频率和幅值大、周期小,小波系数幅值变大;转速越低信号频率和幅值越小、小波系数幅值越低。所以从小波分析能够看出,所变换信号的周期越小,小波系数线幅值越大。

计算出转速信号小波系数线的均方根、峰态因数和匀幅指标值,计算结果如表 2 所示。

由计算结果知,在第一段,正常信号小波系数线的均方根为 2.31,峰态因数为 1.259 7,匀幅指标为 0.573 0。异常信号小波系数均方根为 2.23

表2 故障信息特征参数计算结果

Table 2 Results of characteristic breakdown signal

工况	转速 n , r/min	均方根 F_{RMS}		峰态因数 F_{CBE}		匀幅指标 E_A	
		第一段	第二段	第一段	第二段	第一段	第二段
正常	780	2.31	2.35	1.259 7	1.340 4	0.573 0	0.593 1
断两缸	≈ 780	2.23	1.87	1.412 5	1.465 2	0.113 3	0.410 2
变化率		↓3.5%	↓20.4%	↑12.1%	↑9.3%	↓80.2%	↓30.8%

(下降3.5%),峰态因数为1.412 5(增加12.1%),匀幅指标为0.113 3(下降80.2%);在第二段,正常信号小波系数线的均方根为2.35,峰态因数为1.340 4,匀幅指标为0.593 1,异常信号小波系数均方根为1.87(下降20.4%),峰态因数为1.465 2(增加9.3%),匀幅指标为0.410 2(下降30.8%);

两个缸断油时,在第一段,发动机转速低、转速信号幅值小(周期较大)、小波变换的系数线的均方根下降;在第二段,由于两个缸不工作发动机转速下降、信号幅值变小(周期变长)、小波系数线的均方根明显下降。

峰态因数增加表示波形幅值的突然变化程度。当发动机有两个缸不工作的故障时,在第一段,运转不稳定程度增加,所以异常信号小波系数线峰态因数增加12.1%。

匀幅指标对幅值的灵敏度较高,可用来刻画

波形的异常。在第一段,正常和异常信号小波系数数之间的差异为80.2%,这是因为:曲轴转角 $0^\circ \sim 90^\circ \text{CA}$ 范围内转速低,从 90°CA 发动机第1缸做功行程开始,转速和信号幅值逐渐增加(周期变小),小波变换系数线幅值也逐渐增加,这个现象导致转速信号幅值变化。在第二段,差异为30.8%,其原因是:两个缸不工作时,转速不增加,信号幅值慢慢地下降或没有幅值的突然变化,小波系数线幅值变化不均匀。

3 结论

发生缸断时在循环周期的断缸部分,瞬时转速降低,信号幅值变小,周期变长,小波系数线的均方根明显下降。利用小波系数可以分析转速信号、判断电控发动机的断缸故障。对转速信号小波分析,其结果能对比发动机各缸的工作性能。

参考文献:

- [1] 吴克刚,钟益斌. 发动机综合性能仿真系统[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(5):111-114.
- [2] 张红光,何洪,刘兴华. 车用大功率柴油机电控喷油系统的开发研究[J]. 中国公路学报,2003,16(2):103-107.
- [3] 梁青. 小波分析在故障诊断中的应用[J]. 广西科学院学报,2002,18(1):8-11.
- [4] 苏厚军,杨家军,王润卿. 基于小波分析的信号检测研究与应用[J]. 武汉理工大学学报,2005,27(1):15-17.
- [5] 屋德·毕力格. 基于波形分析法的电喷汽油机故障诊断研究[D]. 西安:长安大学,2005,11.

The Application of Wavelet Analysis Method in the Electronic Controlled Engine Fault Diagnosis

YUAN Hua-zhi, CHEN Hao, LI Bin, HA Li-de

(School of automobile, Chang'an University, Shanxi Xi'an 710064, China)

Abstract: In this paper, the velocity sensor was used as an example to discuss the feasibility whether the wavelet analysis method can be applied to fault diagnosis of the electronic controlled engine or not. The normal and abnormal signal of velocity sensor were collected and analyzed by the wavelet analysis method. The results indicate that we can use wavelet transform coefficient to analyze speed signal and decide which cylinder is off. The results of the wavelet analysis method used in velocity signal can compare the capability from one cylinder to another. It proves that using the wavelet analysis method to diagnose fault of the electronic controlled engine is feasible.

Keywords: automotive engineering; electronic controlled engine; velocity sensor; wavelet analysis method; fault diagnosis