

35-39

7

离线振动分析与诊断软件系统

Off-line Vibration Analysis and Diagnosis Software System

丁康
Ding Kang

谢明 ✓
Xie Ming

李永健
Li Yongjian

王延春
Wang Yanchun

(重庆大学汽车工程系, 重庆, 630044)

摘 要 论述了 DAS 离线振动分析系统的设计思想和技术特点。该系统采用快速 FIR 非递归多通带带通滤波器和磁盘取样, 只计算重抽点的滤波值, 分析频率可变, 提高了离线分析的速度和灵活性; 并将该系统用于 C516A 立车的故障诊断

关键词 振动; 信号处理; 数字滤波; 离线分析
中国图书资料分类法分类号 TN911.72; TN 407

故障诊断 软件
TP319

ABSTRACT This paper discusses design's ideas and technical characteristics of DAS off-line vibration Analysis system, which was developed by Automobile Department of Chongqing University. The system uses Fast FIR multi-pass-band digital filter to calculate the filter values of resampling signals. It can make off-line analysis much more rapid and flexible, and the system was used in off-line analysis of C5216A

KEYWORDS vibration; signal processing; digital filter; off-line analysis

1 概 述

“在线分析”是指处理系统对来源于现场实测的信号或磁带机记录的信号直接进行 A/D 变换, 对离散化的采样数据直接进行各种处理而得出分析结果。“离线分析”则是首先用数据采集系统对来源于现场或磁带机记录的实际模拟信号进行 A/D 变换, 将离散化的采样数据以数据文件形式存贮于软盘上, 分析处理时将已存盘的数据文件回放以进行各种分析处理。

离线分析的优点是: 1) 分析设备不需搬至现场, 直接用便携式数据采集系统到现场采集数据, 节省了磁带记录仪这个中间环节, 既方便又经济。2) 有充裕的时间对一段信号反复进行各种分析以寻找故障产生的部位和原因等, 并且分析的重复性好。3) 使用灵活方便。由于现场采集的数据存入磁盘, 所以可在任何有同类计算机的地方回放分析。

国内现行离线分析系统的缺点是: 1) 分析频率不可变, 即只能采用存盘时的采样频率进行各类分析。对于频域分析, 一个周期采样 2.5—4 点最好, 频率分辨率最高, 采样频率过高

则分辨率太低;而时域分析若要清楚观察波形形状,每周期至少采样25点以上,这就要求较高的采样频率;所以分析频率不可变就使一个采样存盘数据文件往往不能同时满足时域和频域分析的要求。2) 重抽样的频率混淆。离线分析频率可变意味着能够对存盘的数据文件进行隔点重抽,在重抽时若不进行数字滤波,不可避免的要产生频率混淆,出现假频。3) 速度慢。振动分析需要对大量数据进行重抽样、抗混滤波和各种运算,若速度太低则根本无法实际使用。以进行40段(每段1024点)频谱分析为例,要进行 $61440 \times N(\text{隔点点数}) \times M(\text{滤波阶数})$ 点的磁盘抽样和数字滤波,若 $N = 10$ (分析频率变小10倍), $M = 200$,则总点数达 8.192×10^7 ,另外还要进行40960点的重抽样、FFT和谱分析,其计算量之大令人难以想象。若不采用先进的算法和语言以提高速度,离线系统根本无法使用。

DAS系统^[1]在设计思想上充分考虑了上述具体问题而提出了有效解决方法。

2 系统的构成

DAS 离线振动分析系统适用于 IBM PC 系列微机及其兼容机,其功能见图1,程序结构框图见图2。

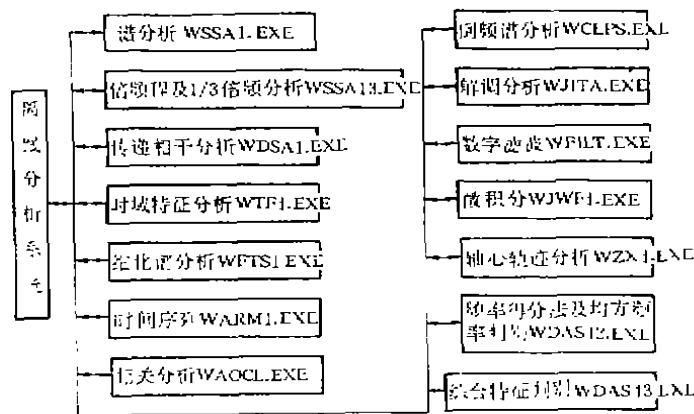


图1 DAS 离线分析系统功能框图

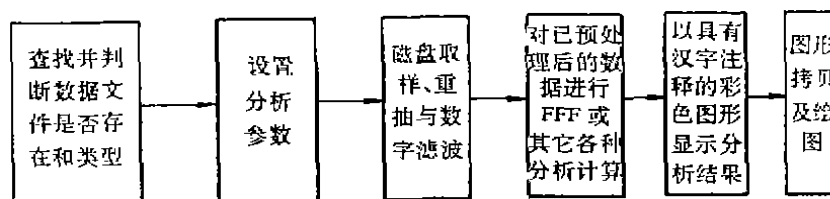


图2 DAS 离线分析程序结构框图

3 系统的设计思想和技术特点

1) 功能全:具有图1所示包含有信号处理、系统分析、瞬态分析、微积分、故障诊断等方

面数十项功能,为振动分析提供了有效手段。

2) 离线分析频率可变: DAS 系统采用汇编语言编制的数据采集软件,其单通道采样的最大点数可达181248点数据,双通道最大采样点数可达91136点,多(N)通道最大采样点数为181248/N 点数据,在一次测量中硬盘至少可存贮100个测点数据。DAS 系统离线分析时取样频率可按原采样频率 f 或 $f/2, \dots, f/N$ 选择,分析段数可由分析频率和采样时最大记录段数来选择,并在隔点重抽取时采用 FIR 数字抗混滤波方法,使离线分析采用一个数据文件可同时兼顾时域分析取样频率高,频域分析取样频率低的需要。

3) 编制了高速 FIR 非递归数字滤波^[2]软件以解决重抽样带来的频率混淆问题并提高速度。

带通滤波器的理想幅频特性如图3所示,其中 π 为1/2采样频率,其冲击响应为:

$$h(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_2}^{-\omega_1} e^{jn\omega} d\omega + \frac{1}{2\pi} \int_{\omega_1}^{\omega_2} e^{jn\omega} d\omega$$

$$= \frac{\sin n\omega_2}{n\pi} - \frac{\sin n\omega_1}{n\pi} \quad (|\omega_2| \geq |\omega_1|) \quad (1)$$

式中 ω_2 为通带高端频率, ω_1 为通带低端频率。

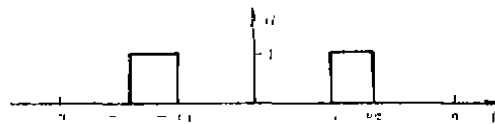


图3 带通滤波器理想幅频特性

对于多个通带的带通滤波器同理可得:

$$h(n) = \sum_{m=1}^K \left(\frac{\sin n\omega_m^H}{n\pi} - \frac{\sin n\omega_m^L}{n\pi} \right) \quad (2)$$

$$(\omega_m^H \geq \omega_m^L) \quad (n = 0, 1, 2, \dots, M)$$

式中 K 为通带数, ω_m^H 为每一通带的高端频率, ω_m^L 为每一通带的低端频率, M 为滤波器半阶数。

对一信号序列为 $x(k), k = 0, 1, \dots, N$, 其滤波输出序列为:

$$y(i) = h(0) \cdot x(i) + \sum_{n=1}^M h(n) [x(i+n) + x(i-n)] \quad (3)$$

$$i = M, M+1, \dots, N-M$$

采用 FIR 数字滤波方法最突出的优点是滤波一次完成,没有递归滤波的中间序列,易于用汇编语言实现且精度高;第二个优点是没有递归滤波由于初始值人为赋给产生的初始段滤波值不准确(截头效应)的缺点,其计算出的每一点都是对应原始序列的准确滤波值,且保留了相位信息;第三个优点是用于细化谱分析、离线重抽抗混滤波等运算时,只需计算重抽点或细化点的滤波值即可,大大减少了运算量,提高了速度。

连续采样信号存盘后,在使用中为了兼顾时频域各种分析的需要,要求以不同的抽样频率进行重抽,为了避免重抽引起的频率混淆,必须在重抽前进行抗混滤波。DAS 采用上述

FIR 非递归数字滤波器以解决重抽引起的频率混淆现象。

4) 速度快、精度高。本系统采用下列措施以提高分析速度和精度。

a) 大量采用汇编语言以提高速度,例如磁盘取样、数字抗混滤波、重抽样、FFT 和谱分析^[3]、数据传递和图形显示等功能均采用汇编语言子程序,不但增加了整套系统编程的模块化程度,而且大大提高了运算速度。

b) 针对计算量最大的数字滤波程序,不但采用汇编语言,而且在算法和编程技巧上不断作了改进,将磁盘抽样、滤波和重抽有效地结合起来,大大减少了计算量也避免了频混,提高了离线分析速度与精度。

重抽样的具体实现过程为:

在内存中开辟一个16K的空间作为缓冲区,每次从磁盘中读出16K的连续采样数据放在缓冲区内,再从缓冲区对要选抽的数据进行FIR数字滤波,将滤波后的值按顺序放入给定的地址,然后再从磁盘中读出下一个16K数据,如此反复进行,直至选抽完规定的点数据序列以供分析。为了确保选抽是等间隔的,第一次读盘以后的各次读盘时,文件指针的位置需精确计算,二次读盘时文件指针之差不一定精确等于16K(缓冲区长度)。其实质是将高速读盘、抗混滤波和重抽有机地结合为一体,大大提高了分析速度。在时钟频率为33 MHz 微机上运算,进行32段(每段1024点)谱平均分析的时间(包括从磁盘中取数、重抽和数字滤波、32段FFT和谱平均)仅需20 s,从而在国内第一次把大量数据的离线分析和数字滤波运算速度提高到可以快速解决实际问题的水平。

c) 采用先进的算法和编程技巧以提高速度。DAS 系统在关键的磁盘取样、重抽、数字滤波和FFT及谱分析等方面都采用先进的算法或编程技巧。以磁盘抽样为例,原CDMS系统^[4]是采用移动磁盘文件指针,一点一点将选抽点读入内存,而DAS是将16K数据直接读入内存,再在内存中选抽其中有用的点数,然后再将下一个16K读入内存选点直至选抽结束,这种新的磁盘读数据方法比老方法快50倍以上。又如改进后的整型数据数字滤波器,在时钟频率为33 MHz 的微机上运算,101阶10000点FIR多通带带通滤波时间小于1.2 s,滤波最大衰减率为70 dB,过渡带陡度也大大优于模拟滤波器。

4 工程应用实例

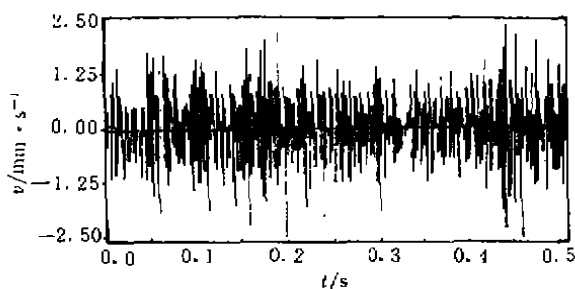


图4 C516A 立式车床振动速度原始采样时域波形

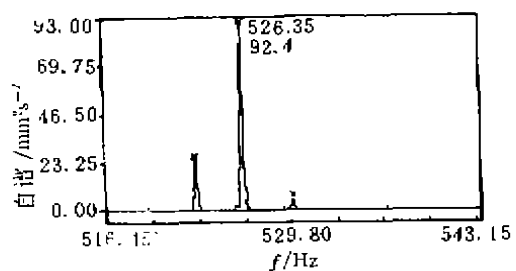


图5 细化25倍自谱(离线分析)

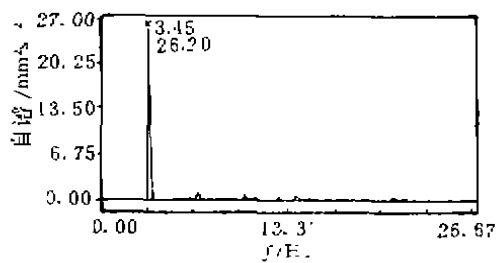


图6 离线分析细化30倍解调谱

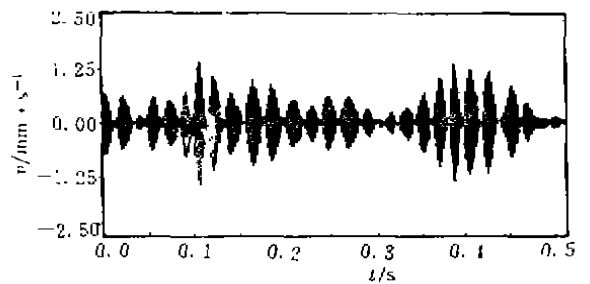


图7 离线分析带通数字滤波

(带通频率为500~550Hz)

某厂一台 C516A 立车, 1989 年底出现变速箱的振动、噪声异常现象, 持续至 1991 年, 此期间内立车工作只能带 30% 负荷。图 4~7 是对以 2000 Hz, 54 段 (每段 1024 点) 存盘的数据文件分别进行离线分析得到的结果。图 4 是原始信号进行 500~550 Hz 带通数字滤波结果。原始图上几乎看不出调制现象, 经处理可以清楚地观察到存在着以 526.35 Hz 为中心频率 (载波频率), 以 3.45 Hz 为调制频率的边频带。根据转速测量和传动链分析, 这个中心频率为 V 轴齿轮啮合频率的 2 倍, 调制频率恰为 V 轴的转频, 故诊断结论为此轴发生了 2 阶弯曲, 齿轮也出现了故障。按诊断结果更换零部件后, 异常振动与噪声完全消失, 立车可带负荷 130% 工作。

5 结 论

1) DAS 系统离线分析频率可变, 将磁盘取样、FIR 非递归数字滤波和重抽有机地结合起来, 避免了频率混淆, 大大提高了分析速度和精度, 扩展了用途。

2) 该系统功能全, 采用了先进的算法, 其许多功能指标达到了较高的水平。以汇编语言编制的 FIR 数字滤波程序速度快, 达到 101 阶 10000 点定点计算仅需 1.2 s。

3) 应用实践表明离线振动分析具有广阔的应用前景。

参 考 文 献

- 1 丁康等. DAS—I 动态信号分析与故障诊断系统. 振动工程学报, 1993, 6(2): 199~204
- 2 宗孔德, 胡广书. 数字信号处理. 北京: 清华大学出版社, 1988
- 3 丁康等. 提高 FFT 和谱分析速度和精度的方法. 重庆大学学报, 1992, 15(2): 51~57
- 4 丁康等. CDMS 信号处理故障诊断及振动分析系统的设计思想和技术特点. 重庆大学学报, 1992, 15(2): 46~50