

基于小波分析的某型装备发动机分布式 在线检测系统设计

杨云飞, 葛玉, 黄林昊, 龚长征

(武汉军械士官学校, 武汉 430075)

摘要: 针对现代战车大型发动机强干扰下的在线故障检测需求, 设计了一种基于小波分析的某型发动机分布式在线检测系统; 整体设计基于分布式设计思想, 在某型发动机合适部位设置检测节点, 通过 CAN 总线传递数据到显控中心; 利用 CAN 总线进行数据传送, 提高了测量与控制的精确度, 减少了传送误差, 增强了故障分析的准确度; 显控中心综合运用了小波变换和模式识别技术进行故障诊断, 具有快速故障定位能力和拓扑适应能力; 应用表明, 该系统能够较好地应用于某型发动机的在线监控, 使用方便, 故障诊断快速有效, 解决了发动机在线预警和故障诊断的问题。

关键词: CAN 总线; 故障诊断; 数据采集; 信号调理

Design of Distributed Online Test System for a Certain Type Engine Based on Wavelet Analysis

Yang Yunfei, Ge Yu, Huang Linhao, Gong Changhong

(Wuhan Ordnance Non-commissioned Officer Academy of PLA, Wuhan 430075, China)

Abstract: Aimed at the requirements of the fault detection system for the modern large engine of tank, which worked under strong interference conditions, one online fault detection system based on wavelet analysis was designed. The detection nodes were set in a certain type of the engine, the information was transmitted to the center through the CAN bus. Using CAN bus to transmit information could improve the precision of the measurement and control; the wavelet transform and the pattern recognition technology were used for the fault analysis in the control center, by which the people could locate the fault quickly. The application showed that the system would be better applicable to modern digital chariots of maintenance support, and which was used easily, the fault could be detected quickly and efficiently.

Keywords: CAN bus; fault diagnosis; data acquisition; signal conditioning

0 引言

现代信息化条件下的战争对武器装备机动性能要求越来越高, 某大型装备的动力核心是其配备的发动机, 在实际遂行任务过程中, 一旦发生故障, 将直接影响整车战术技术性能, 严重影响战场态势。如何实现对其工作状态的在线监控, 预先判断可能发生的问题, 并且一旦发生故障, 如何能够快速进行故障定位, 将直接关系到某大型装备的整体可靠性。由于该型发动机集成化程度越来越高, 加之综合传动系统的采用, 使得其对维修保养的要求也越来越高, 传统的方法基本无法实现故障预判, 而且当发生故障时, 采用传统的方法很难识别复杂的故障模式, 无法快速准确判断故障部位, 由此使得维修保养变得越来越困难。基于此, 设计开发了基于小波分析的某型发动机分布式在线监控系统, 利用分布式节点实时在线监控发动机工作的关键数据, 通过 CAN 总线将数据发送给显控中心, 通过小波分析与模式识别^[1], 成功实现了某型装备发动机联动工作时各类数据的在线监控和故障的预判, 一旦发生故障, 还可以通过故障诊断快速实现故障定位, 为某型装备发动机稳定的工作提供了可靠保证。

1 系统总体设计

某型发动机在工作中, 会对其工作性能产生重要影响的参数主要包括发动机水温、发动机油温、发动机油压、发动机转速、空气滤负压、发动机油量、电控系统性能及供油特性等。对分布式在线监控系统的设计首先要考虑的就是如何对以上数据进行采集发送, 这里根据分布式设计思想, 依据发动机物理空间数据采集的要求, 根据实车设计各数据的采集节点, 分别独立进行数据采集处理与上传, 为了减少电缆连接, 增加数据传送可靠性, 采用了 CAN 总线连接方式。另外通过对以上组成部分各类信息的充分研究与分析, 可对影响故障诊断分析的数据分成两大类: 一类是连续变化的量切可能不是瞬间出现故障的情况, 比如油管裂缝引起的油压降低, 这些问题将最终导致严重故障的发生; 另一类是突变信息, 可立即导致发动机故障; 这些信息都将交由显控中心综合分析判断, 通过小波变换与模式识别, 最终实现故障预判与故障诊断。

依据集成化、模块化、分布式的总体设计思路, 该在线监控系统整体主要包括数据采集部分、综合处理部分及数据传送总线。数据采集部分主要包括发动机水温采集节点、发动机油温采集节点、发动机油压采集节点、发动机转速采集节点、空气滤负压采集节点、发动机油量采集节点、电控系统性能采集节点及供油特性采集节点; 数据传送部分采用了工业控制总线 CAN 总线; 故障预判与故障诊断系统集成在显控中心, 整体组成如图 1 所示。

收稿日期:2016-12-20; 修回日期:2017-02-20。

作者简介:杨云飞(1980-),男,湖北武汉人,硕士,主要从事自动测试方向的研究。

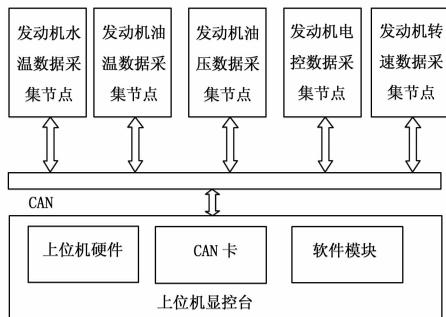


图 1 自动测试系统整体组成

2 数据采集节点设计

数据采集节点是发动机工作时关键数据的数据源，是故障分析诊断的基础，设计时采用了通用模块化的思想，每个关键数据设计一个对应的数据采集节点，每个数据采集节点主要包括：传感器、数据采集与处理电路、数据收发电路等^[2]。数据采集节点可独立工作，不间断的检测对应节点的数据并发送给显控中心，由显控中心进行进一步处理并分析和预估故障。数据采集节点可实现自主智能选择检测控制逻辑进行数据采集，经初步处理后与上位机实现信息有效传输。

数据采集节点采用通用化设计，因其实现功能类似，都是把分布式的各类数据转换采集并传送给显控平台，由显控平台进行数据分析和故障诊断处理。所以发动机水温采集节点、发动机油温采集节点、发动机油压采集节点、发动机转速采集节点、空气滤负压采集节点、发动机油量采集节点、电控系统性能采集节点及供油特性采集节点设计时都包含了物理量转换电路和数据采集电路及 CAN 收发电路，在这些组成部分中，除了物理量转换电路外，其它组成部分都可以通用。针对物理量转换电路，设计时采用了专用各类型传感器，即水温传感器、油温传感器、油压传感器、油量传感器等，这类器件直接购置，其数据经相关处理电路进一步按照实际检测需求对信号进行阻抗匹配、增益控制和隔离放大等，以满足复杂信号检测分析的需要。总线控制电路控制适配器与显控平台的检测控制信号和检测反馈信息传输，通过 CAN 总线，实时进行检测命令和检测数据的上传下达，为故障诊断分析提供可靠保证。

针对数据采集节点这里主要介绍通用部分设计，即数据采集部分和 CAN 收发电路的设计，如图 2 所示。

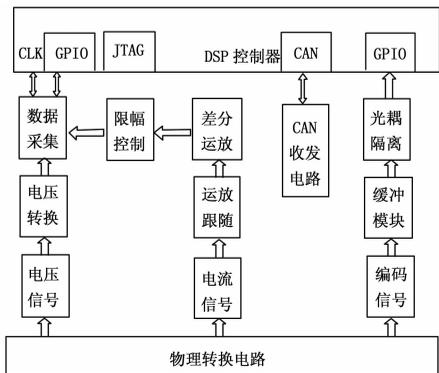


图 2 数据采集节点整体设计

2.1 数据采集与处理部分设计

在该系统中，系统正常工作的基础是各传感器实时工作的

有关数据，数据来源关键依靠数据采集节点完成，显控平台最终接收的传送数据准确度高度依赖数据采集系统。

而对于数据采集系统^[3]来说，其核心性能又决定于 AD 转换芯片，AD 转换性能某种程度上决定了数据采集系统整体关键性能指标。

为了可靠精确地获得发动机工作数据，重点在选择合适的转换芯片。工程上选择转换芯片过程中主要应当关注其数据精度、数据的量化误差、数据的分辨率及数据转换速率。

一个 ADC 转换器的分辨率基本就限定了所能够区分的模拟数据的最小变化值。在系统工作中，满足分辨率需求的模拟数据的值取决于二进制数，所以工程上采用位数来表示其分辨率参数，量化误差是由于模拟转换器件的有限分辨率所造成的误差，就是说转换器件阶梯状转移特性曲线与理想曲线的最大偏差；数据精度就是指工作过程中的量化误差与附加误差之和；器件的转换速率表示该器件在完成一次模数转换任务时，所消耗的时间的倒数。在综合考虑数据精度、数据的量化误差、数据的分辨率及数据转换速率后，结合本系统性能需要，数据采集系统选择了 ADC08200 芯片，ADC08200 是美国某公司设计生产的，该数据转换芯片性能较好地满足了发动机传感器数据的需求，其数据分辨率为 8 位，数据采样速率为 200 Msps，而且在正常工作时功耗较小，能够很好的满足分布式长时间工作的系统使用，另外，该器件还内置有数据采样保持器，为数据处理提供了方便。另外，该器件提供了较多的接口，其中包括单端输入一个，CLK 输入一个，数据总线输出端口一组，而且模拟电源和数字电源采用分路模式，有效地抑制了系统噪声。数据采集电路如图 3 所示。

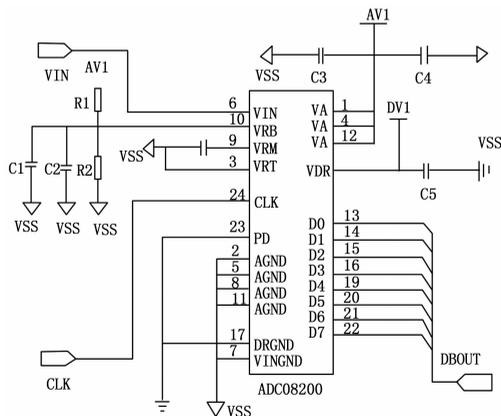


图 3 数据采集电路

在数据采集电路^[4]设计中，VIN 是来自发动机工作输出的调理后的信号，对模数转换器件实现匹配。CLK 为数据采集电路的时钟输入信号，系统设定 200 MHz。DSP 控制器提供了系统工作的高速时钟。DB [0..7] 为数据转换芯片的输出端口，对接 DSP 的 GPIO，经处理后转发给 CAN 总线收发电路，进而传送到显控平台。

2.2 CAN 收发电路设计

系统的数据采集节点不但具有模数转换能力，针对显控平台具有可靠通信能力，以保证所采集数据的可靠传输。在分布式系统数据节点中，设置了 DSP 控制器，该器件集成有 CAN 总线控制器，不过仅仅具有逻辑控制功能，数据驱动缺失，不适合该分布式系统的应用。所以为了实现数据采集节点与显控平台的数据传送，这里设计有 CAN 收发电路，以提供合适的

数据驱动能力。驱动电路组成如图 4 所示, 该电路中的驱动芯片采用了 TI 公司设计生产的 SN65HVD231, 针对 CAN 总线的工作, 该芯片提供了可靠的差动放大能力, 有效匹配了 DSP 控制器的 CAN 总线控制部分。另外, 电路中设置有双路光电耦合芯片, 对电路进行了物理隔离, 可以提供很好的抗干扰能力, 有效提高系统的可靠性。

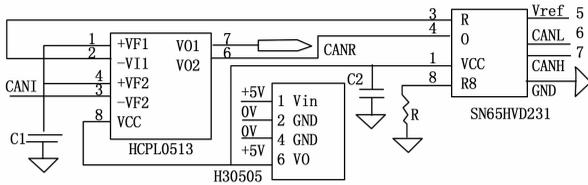


图 4 CAN 收发电路

3 显控平台设计

显控平台硬件采用工程上成熟应用的工业计算机系统, 通用性强, 配合 CAN 卡即可实现与分布式数据采集系统的数据传输。这里重点介绍故障诊断软件的设计。装备发动机的故障诊断^[5]显然依托于分布式数据采集系统提供的关键信号数据, 数据的突变往往标志着故障的发生, 显控平台首要任务就是能够有效识别工作过程中的突变信号。而由于装备发动机工作环境震动很大, 电磁环境复杂, 使得相关数据噪声也较强, 突变信号往往不易提取, 这就需要故障诊断系统必须能够在强噪声背景下较好地提取工作数据, 以分析可能的故障。近年来的研究发现, 小波分析可以有效解决这一问题。

3.1 小波变换

小波变换是小波分析的基础。

小波变换是信号数学变换的一种, 对 $f \in L^2$, 待分析信号 f 可进行小波变换如下:

$$W_f(s, x) = f * \psi_s(x) = 1/s \int_{\mathbb{R}} f(t) \psi[(x-t)/s] dt$$

其中: $*$ 表示卷积, $\psi_s = 1/s \psi(x/s)$ ($s \neq 0$)。

小波变化可以看做设置了滤波器, 其具有频率分辨力为 $\Delta f/f$, 而且频率分辨力是相对恒定的, 信号经变换后的特性便于对其进行进一步分析。

针对信号的小波变换与傅里叶变换具有相似性, 传统方法在对信号进行傅里叶变换时, 运用数学计算将待分析信号分解为正弦波信号或余弦波信号的无穷累加和, 这样虽然进行了分解, 但不能进行信号的局部分析; 而针对信号的小波变换, 设置了一簇小波函数来表示对应的信号, 在信号分析的角度, 就是相当于增加了可变的带通滤波器, 通过带通滤波器, 可以针对信号得到时域和频域进行局部的分析。

将小波分析应用于发动机系统的故障诊断信号处理法的一种。这样做的好处是分析时, 不用具体考虑被分析对象的数学模型, 这对于发动机系统来说相当有效, 因为, 针对发动机工作不易建立模型的特性相当有效。

3.2 小波变换故障诊断

针对发动机某待分析信号这里定义为 $f(t)$, 设置小波函数为 t , 则小波反对称变换为:

$$W_1 = \frac{d}{dt}(f(t) * \varphi(t))$$

小波对称变换为:

$$W_2 = \frac{d^2}{dt^2}(f(t) * \varphi(t))$$

根据平滑函数和反对称小波特性, 在待分析信号中的边缘跳变处, 通过信号的反对称变换, 将会出现一个最大值, 如果信号进行了对称小波变换, 则会出现一个零值; 相反, 针对信号的峰值跳变, 通过反对称小波变换, 将出现一个零值, 而针对信号的对称变换则会出现最大值。所以, 针对发动机系统的分析, 对于阶跃信号故障诊断系统采用反对称变换, 而对于转速传感器等脉冲信号采用对称小波变换, 这样都可以得到一个利用小波变换检测信号突变的故障方法连续小波变换能够通过多尺度分析提取信号的奇异点。因此, 利用小波变换可以区分噪声和信号边沿, 有效地检测出强噪声背景下的信号边沿(奇变), 即可以有效地检测出信号的突变, 由此进行故障的定位。动态系统的故障通常会导致系统的观测信号发生奇异变化, 可以直接利用小波变换检测观测信号的奇异点, 从而实现了对系统故障的检测。比如, 检测中可以根据装备发动机油路泄漏造成的压力信号突变的特点, 用小波变换检测这些突变点, 实现发动机工作时油路的泄漏诊断。

现代战车发动机在工作过程中, 故障发生的部位、时间、特征都具有很大不确定性, 为了做好快速故障辨识和处理, 设计时采用了以目前应用效果较好的小波网络与模式识别相结合的故障诊断方法。在具体的故障诊断过程中, 突变信号采用小波分析直接判断, 缓慢变化的信号比如机械裂缝造成的震动变化, 可以通过对各种故障模式进行小波变换, 并进行故障识别, 就可很好提高诊断结果的可信度, 并且便于扩展。

4 结束语

在线检测系统基于便携式、分布式设计思想, 针对某型装备发动机工作的复杂环境, 通过在发动机上分布式布局数据采集节点, 实时获得发动机工作过程中各关键数据, 利用 CAN 总线实现数据采集节点与显控中心的数据传输, 显控中心通过对检测数据的小波对称和反对称变换, 得到故障诊断的奇异值, 以准确实时的发现故障。利用该检测系统对某武器系统大型装备发动机检测, 数据传送误差低于 0.1%, 重复发送后, 可以有效纠错, 确保了数据准确性; 通过对某型 BV150 发动机测试实验, 故障定位准确率达到 97%, 可有效辅助装备的故障诊断。利用显控中心与数据采集节点的分体式设计思想, 实现了平台物理资源复用和测试程序与硬件无关, 从而实现了底层设备的通用性, 保障了测试的一致性。适配器部分采用的复合结构, 在控制效果和运算速度上达到了统一, 为了适应多路复杂信号有效采集, 在 ADC 前端设计了自适应调理电路, 实现了检测信号与采集电路的完好匹配。显控中心故障诊断模块采用小波变换故障诊断方法, 在针对发动机的故障诊断过程中, 不仅提高了诊断结果的精确性, 也更加适用于发动机在线检测设备的功能扩展。

参考文献:

- [1] 赵玉刚, 鞠建波, 杨兵兵. 基于小波变换的电子设备故障诊断技术研究 [J]. 兵器装备工程学报, 2016, 5: 49-52.
- [2] 杨云飞, 高强, 葛玉. 基于嵌入式系统的某型火控系统检测仪设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(12): 2786-2788.
- [3] 梁宇恒. 高精度数据采集及 DSP+FPGA 高速信号处理硬件系统设计 [D]. 西安: 电子科技大学, 2012.
- [4] 马青. 高速数据采集信号调理电路的研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2009.
- [5] 傅建平, 张培林, 焦文生. 基于故障树和专家系统的自行火炮火控系统故障诊断 [J]. 四川兵工学报, 2009, 30(9): 32.