

基于 DSP/BIOS 实现发动机实时在线状态监测

施先旺

(西安航天动力研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 介绍了发动机工作过程中状态实时在线监测软件设计的难点、软件体系结构、任务设计及主要模块的功能, 提出基于 DSP/BIOS 嵌入式实时操作系统的技术实现途径。相关技术已通过充分的测试和验证, 在实际应用中运行稳定、可靠。

关键词: 发动机; 状态监测; 数据采集; ADC; DSP/BIOS

中图分类号: V434

文献标识码: A

文章编号: (2010) 05-0054-05

Real-time on-line state monitoring of an engine based on DSP/BIOS

SHI Xian-wang

(Xi'an Aerospace Propulsion Institute, Xi'an 710100, China)

Abstract: The embedded real-time monitoring in the working process of an engine is a key technology. The real-time on-line state monitoring difficulties encountered in software design, software architecture, task design and functions of key modules are introduced. An approach based on embedded real-time operation system and its implementation with DSP/BIOS are presented. The relevant solutions have been verified and proved thoroughly. They have played a key role in practical applications.

Keywords: engine; state monitoring; data acquisition; ADC; DSP/BIOS

0 引言

在某型发动机控制监测系统中, 需要在发动机工作过程中实时采集并传送发动机状态参数, 为实时控制和远程遥测系统提供数据。利用 DSP/BIOS 嵌入式实时操作系统的多任务机制, 在多种实时处理过程并存的条件下, 完成了数据的长时间、快速定时采集、滤波、计算、判断、通讯

等, 实现了对发动机工作状态的可靠、实时在线监测。

1 应用背景与需求分析

在某型发动机工作过程中, 其控制监测系统执行任务控制计算机发出的指令, 完成发动机增压、点火、关机、应急处置及燃料排放等操作。为确定发动机任意时刻状态, 特别是指令执行过

收稿日期: 2010-05-10; 修回日期: 2010-06-24

基金项目: 国家航天技术支撑项目

作者简介: 施先旺 (1968-), 男, 高级工程师, 研究领域为火箭发动机检测与控制、嵌入式系统等

程中的状态、工作过程中燃料剩余量等,需要测量高压气源及燃料贮箱压力、燃料泵入口及出口压力、燃烧室压力、燃料贮箱及泵温度,实时计算燃料剩余量;同时,为确认控制监测系统状态,需要测量电源电压、处理机板 ADC 芯片温度及基准电压。上述参数共包括压力 12 个、温度 4 个、电源电压 4 个、其它参数 4 个。图 1 为某发动机控制监测系统数据采集硬件框图。

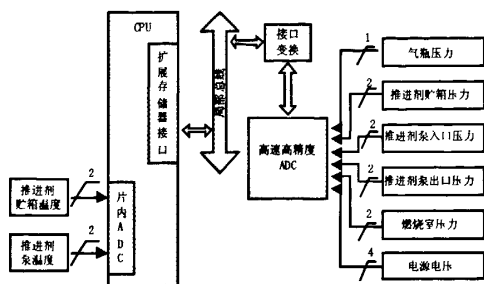


图 1 数据采集硬件框图

Fig. 1 Diagram of data acquisition assembly

由图 1 知, 待开发的软件需完成以下功能:

- 1) 同时管理两个 ADC, 其中一个内嵌于处理器芯片, 另一个为独立的 SPI 接口 ADC 芯片, 经过接口转换后, 连接到处理器扩展存储器接口 (XINTF);
- 2) 实现数据采集, 包括采样通道配置、采样参数设定、采集过程启动与停止、采样码数据缓存及读取等;
- 3) 根据被测参数特点, 执行数字滤波、传感器读数计算等运算;
- 4) 据发动机特性和工作状态, 计算燃料耗量;
- 5) 实时健康监控, 即根据设定的燃料耗尽关机限, 检测燃料剩余量, 自动启动耗尽关机程序;
- 6) 将采样数据分时、分批组装为各种遥测遥控数据包;
- 7) 向任务控制计算机及遥测计算机实时发送遥测遥控数据包。

2 软件概要设计

根据以上需求，确定了软件的体系结构，定

义了数据结构、接口及数据采集处理过程。

2.1 软件体系结构

实时在线状态监测过程包括数据采集硬件的操作、数据处理两个主要流程,因此采用了分层系统、管道过滤器结合事件驱动的体系结构形式。从模块组成角度,软件包括硬件层、中间层、软件层和功能层,其中硬件层即两个 ADC 部件的软件接口;中间层即 ADC 部件设备驱动软件,为上层软件模块提供操作 ADC 的方法;软件层为任务和数据管理层;功能层完成数据采集、滤波、计算、判断、通讯等各项具体功能。从数据流角度,本软件的主要流程是典型的数据输入、处理、输出的过程。为提高实时性、可靠性,为数据的采集、处理及传送等过程定义相应的异步事件,采用事件驱动模型完成数据流各环节的操作。

在控制监测系统中,除上述数据采集处理过程外,还需要同时完成实时控制、实时通讯等,传统的循环、带中断的循环、函数队列调度等软件运行结构都难以满足实时性要求,不能充分利用计算机的处理能力,也难以调试、维护,必须采用实时操作系统。

2.2 嵌入式实时操作系统 DSP/BIOS

DSP/BIOS 是 TI 公司针对 TMS320C28x、TMS320C5000 及 TMS320C6000 等系列处理器的高度优化、成熟的嵌入式实时操作系统，具有可固化、可裁减、可剥夺、多任务、时间特性确定等特性，提供硬件抽象和系统服务，配备实时分析、内核裁减工具等，与开发工具无缝集成，无须运行时授权，可提供源码，提供完全的技术支持。

DSP/BIOS 实现了一个基于固定优先级的抢先式调度器，任务按优先级调度。DSP/BIOS 中的任务称为线程，按优先级从高到低包括硬件中断 HWI、软件中断 SWI、任务 TSK、后台线程 IDL 四种，以及为周期性任务特别设计的硬件定时 CLK、软件定时 PRD，其中 CLK 为 HWI 级别线程，PRD 为 SWI 级别线程。DSP/BIOS 提供了快速灵活的任务间通信机制，支持线程安全全局变量、锁、信号量、邮箱、消息队列、管道等。

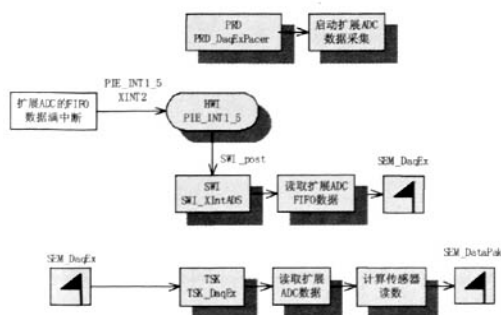


图3 扩展 ADC 数据采集处理流程

Fig. 3 Flow chart of data acquisition and processing for extended ADC module



图4 片内 ADC 数据采集处理流程

Fig. 4 Flow chart of data acquisition and processing for on-chip ADC module

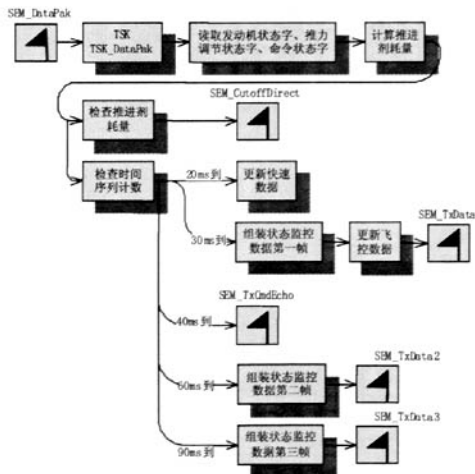


图 5 燃料耗量计算及数据包组装处理流程

Fig. 5 Flow chart of fuel consumption calculation and data package assembly

3 软件详细设计与实现

3.1 硬件驱动

硬件驱动借鉴了 DSP/BIOS IOM 设备驱动程序模型, 提供 ADC 硬件操作、设备初始化、数

据缓冲、通道管理、中断管理、电源管理等一系列标准接口。对于片内 ADC，典型接口函数为：

```
/* Internal function prototypes. */
```

```
static void adcLibInit (void) ;
static  BOOL  adcIoControl (  ADC_DEVICE
*lpDevice, UINT16 nCommand,
                        int nParam1, int nParam2) ;
static  int  adcCopyResults (  ADC_DEVICE
*lpDevice, UINT16 *lpBuf, int nWords) ;
```

```
#if _ADC_INITIALIZE_ISR_AUTO_
```

```
void adcalSr (void) ;
```

```
static interrupt void adcaIsr_nonBIOS (void) ;
```

```
#endif
```

```
/* Global function prototypes.*/
```

```

BOOL adcOpen ( UINT16 nID, UINT16 nAcqPres,
UINT16 nClkPres, BOOL bIntMode) ;

```

```
int adcSetChannels (  UINT16  nID,  UINT16
nChannels,  const  UINT16  *lpInputs,  UINT16
nBufSize ) ;
```

```

BOOL adcStart (UINT16 nID, BOOL bOneShot) ;

```

BOOL adcStop (UINT16 nID) :

BOOL adcPowerDown (UINT16 nID) :

```
void adcClose (UINT16 nID) ;
```

```
int adcRead ( UINT16 nID, UINT16 *lpBuf, int
nWords) ;
```

```
void adcIsr (UINT16 nID) ;
```

```
#ifndef _ADC_SUPPORT_IRQ_HOOK_
```

```

BOOL adcSetHook (UINT16 nID, void  (*intHook)
(int) , int nParam) ;

```

```
#endif
```

3.2 数据采集

数据采集过程基于硬件驱动，通过相关任务协作完成，见图 3、4。扩展 ADC 数据采集过程包括启动、读取数据转换 FIFO、将转换数据复制到数据缓冲区、计算传感器读数等。PRD_Daq ExPacer 按设定的周期 10ms 定时启动一次 ADC 转换，数据自动保存在专用 FIFO 中；当 FIFO 数据达到预

先设定的个数时触发扩展 ADC 的 FIFO 数据满中断, PIE_INT1_5 响应中断激活 SWI_X IntADS, 读取转换数据, 激活信号量 SEM_DaqEx; SEM_DaqEx 激活 TSK_DaqEx, 依次完成扩展 ADC 采集数据读取、计算, 并激活发送等处理过程。片内 ADC 用于采集温度值, 考虑到温度变化缓慢、转换精度较低, 设置 ADC 为自动连续转换方式, 在 TSK_Daq 中查询、读取转换结果并累加, 累加次数到时取平均值、计算温度读数。

3.3 燃料耗量计算及耗尽监控

图 5 中, 当扩展 ADC 数据采集、计算完成后, 通过信号量 SEM_DataPak 激活 TSK_DataPak, 完成耗量计算; 当燃料剩余量超出设定的耗尽关机门限时, 通过信号量 SEM_CutoffDirect 启动发动机关机程序。燃料耗量与发动机工作状态有关, 起动成功后为起动段耗量; 起动结束进入稳定状态后计算燃料流量对时间的积分可得。为计算燃料流量, 需要根据经验公式, 获取燃烧室压力、计算燃料总流量、燃料瞬时流量, 进而通过数值积分获得燃料耗量。为提高可靠性, 燃烧室压力测量为两个通道, 互为备份, 须对压力值进行检验、表决, 进而计算或换算燃烧室压力。

在计算燃料耗量过程中, 根据预置的燃料加注量换算剩余量, 分别检查各燃料剩余量, 若任一燃料剩余量超出设定的耗尽关机门限, 将激活信号量 SEM_CutoffDirect, 模拟关机指令, 进而启动发动机关机程序, 实现自主耗尽关机。

3.4 数据包组装与发布

图 5 中, TSK_DataPak 按时间序列将数据、相关状态字打包; 数据包就绪后, 依次激活对应的信号量, 从而激活相应的数据包发送任务。数据包按时间序列发送可以平衡通讯及任务处理负载, 有利于系统平稳、可靠运行。

4 软件测试

在单元测试、组装测试、确认测试及系统联试各阶段进行了大量的测试, 对各项功能、接口进行了全面、充分的验证。测试重点包括:

- 1) 硬件驱动程序: 按从底层到高层顺序分别

逐一测试两个 ADC 部件各接口函数;

- 2) 数据采集任务: 内部 ADC 任务测试, 扩展 ADC 中断、中断处理、任务处理及数据读取过程测试, 数据采集精度及采样周期测试, 稳定性测试;

- 3) 燃料耗量监控: 燃料耗量计算过程、精度测试, 传感器表决测试, 耗尽检测过程测试, 耗尽关机测试;

- 4) 数据发送: 数据包组装周期测试, 数据发送测试, 数据包测试;

- 5) 综合测试。

5 结束语

将嵌入式实时操作系统引入到发动机状态监测软件设计, 利用 DSP/BIOS 提供的实时多任务调度能力, 实现了多参数实时采集、计算、转换及通讯。试验表明, DSP/BIOS 的成功运用, 使得设计的软件结构清晰、实时性好、运行稳定可靠, 满足发动机状态在线监控和遥测遥控的要求。

参考文献:

- [1] HASSAN Gomaa. 并发与实时系统软件设计[M]. 姜昊, 周靖, 译. 北京: 清华大学出版社, 2003.
- [2] Li Qing. Real-time concepts for embedded systems [M]. CMP Books, 2003.
- [3] 许艳, 陈星. 基于 DSP/BIOS IOM 模型的设备驱动程序开发[J]. 电子测量技术, 2006 (6): 45-46.
- [4] 员天佑, 李潮, 谢阅. DSP/BIOS 多任务环境下的实时数据采集与处理[J]. 微机计算机信息, 2006 (3): 154-155, 72.
- [5] DART David. Using the DSP/BIOS kernel in real-time DSP applications[M]. USA: Texas Instruments, 2001.
- [6] Anon. TMS320 DSP/BIOS User's Guide [M]. USA: Texas Instruments, 2004.
- [7] 王立峰, 李会, 程季多. 基于 TCP/Modbus 协议的面向多连接信号采集器设计[J]. 现代电子技术, 2010 (7): 175-178.
- [8] 崔兢, 张斌珍. 基于 DSP 的高性能通用并行弹载计算机设计与实现[J]. 现代电子技术, 2009 (11): 14-17.

(编辑: 陈红霞)