

基于 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的数据采集模块设计

牛海龙, 高钦和, 李健

(第二炮兵工程大学 201 教研室, 西安 710025)

摘要: 针对车载装备上传感器数据采集模块的体积小、可靠性高、实时性好等需求, 设计了基于嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的数据采集模块, 选用集成了 ADC 与 CAN 通信功能等多种外设的 Cortex-M3 内核芯片 STM32F107VCT6, 移植嵌入式操作系统以简化软件设计, 提高实时性和可靠性; 数据采集模块将采集到的数据通过 CAN 总线实时地发送到主控计算机, 同时也通过 FatFs 文件系统存储在 SD 卡中, 便于计算机读取其中数据, 进行离线分析; 电路优化设计和数字滤波算法, 提高了数据采集模块抗干扰能力和采样精度; 通过实验验证, 该数据采集模块可以准确、及时地获取和发送传感器数据, 具有较高的可靠性和实时性。

关键词: 数据采集; 现场总线; 嵌入式; 操作系统

Design of Data Acquisition Module Based on $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$

Niu Hailong, Gao Qinhe, Li Jian

(201 Staff Room, Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China)

Abstract: Aimed at the needs of the data acquisition module for sensors on-board, such as small volume, high reliability, good real-time performance, a data acquisition module is designed based on the embedded real-time operating system $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$. The Cortex-M3 core chip-STM32F107VCT6 with ADC, CAN communication and other peripherals is selected and the embedded real-time operating system is adopted to simply the design of software and improve reliability, good real-time performance. The data acquisition module can send the acquired data to the master computer by CAN bus and store them in the SD card via FatFs file system at the same time, which makes it easy for PC to read and process the data off-line. The anti-jamming capability and sampling precision are improved by optimizing the circuit design and the use of digital filtering algorithms. By experimental verification, the data acquisition module can acquire and send the sensor data accurately and timely, with high reliability and real-time performance.

Keywords: data acquisition; fieldbus; embedded; operating system

0 引言

机电一体化装备运行过程中, 位移、速度、加速度、倾角等参量的检测非常重要, 依据这些参量, 既可以对装备运行进行控制, 也可以实现故障诊断。因而, 如何准确获取相关传感器的输出信号就显得尤为重要^[1]。

一种方案是应用数据采集卡, 数据采集卡具有精度高、功能丰富等优点, 但是体积较大, 而且需要与计算机配合使用, 不适合在结构紧凑的车载装备上使用, 同时传感器布置的越分散, 连接传感器与采集卡的信号线越长, 数据采集的精度与可靠性越低。

另一种方案就是在相对集中的传感器周围设置一个数据采集节点, 对传感器的输出信号进行采集, 同时也可以进行数据的处理, 节点之间、节点与主控制器之间采用可靠的现场总线实现通信。

针对车载装备结构紧凑、传感器布置分散的特点, 选用 Cortex-M3 内核的 STM32 F107VCT6 芯片, 为简化系统设计过程, 提高系统可靠性和实时性, 移植了 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 嵌入式操作系统^[2], 通过优化电路设计和采用数字滤波算法, 提高了抗干扰能力和采样精度。

收稿日期: 2014-07-03; 修回日期: 2014-10-10。

作者简介: 牛海龙(1989-), 男, 河南新乡人, 硕士研究生, 主要从事兵器发射系统仿真与故障诊断方向的研究。

高钦和(1968-), 男, 山东曲阜人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事兵器发射理论、设备监测与故障诊断、仿真等方向的研究。

1 系统结构及原理

本文所设计的数据采集模块由硬件和软件两部分组成。硬件部分以 Cortex-M3 内核的 STM32F107VCT6 芯片为核心, 具有数据采集、处理和存储的功能, 还能通过 CAN 总线对外通信^[3]。

软件部分以嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 为基础, 采用基于固定优先级的抢占式多任务调度机制, 具有较好的实时性和可靠性^[4]。

模拟信号经过信号调理电路再输入到 STM32F107VCT6 芯片的片内 A/D 转换器上, 采用数字滤波算法对直接获取的数据进行处理, 提高数据采集的精度。数据采集模块总体框图如图 1 所示。

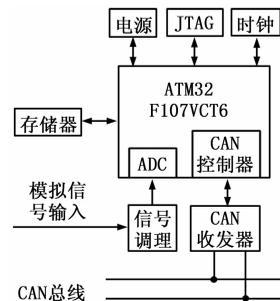


图 1 数据采集模块总体框图

2 硬件设计

硬件部分包括微控制器、电源、信号调理、存储、CAN

通信和调试接口。

微控制器选用意法半导体 (ST 公司) 的 STM32F107VCT6 芯片, 这是一款基于 ARM Cortex-M3 内核的 32 位高性能微控制器, 主频 72 MHz, 内部有 256 KB 的 FLASH 和 64 KB 的 SRAM, 采用 LQFP100 封装, 该芯片外设资源丰富, 具有 ADC、DMA、CAN 总线、定时器、RS-232、I²C、SPI 等^[5]。

芯片内部已经包含 8 MHz 和 40 kHz 的 RC 振荡电路, 但是其精准度不是很高, 因此在外部分增加 25 MHz 的晶振电路, 为系统工作提供可靠的时序基准; 增加 32.768 kHz 的晶振电路, 用于驱动独立看门狗或 RTC 实时时钟。

芯片内置的 ADC 是 12 位逐次逼近型模拟数字转换器, 最大转换速率为 1 MHz, 也就是转换时间为 1 μs, 可测量 16 个外部和 2 个内部信号源, 各通道的 A/D 转换可以单次、连续、扫描或间断模式执行。ADC 的结果可以按左对齐或右对齐的方式存储在 16 位数据寄存器中^[6]。模拟看门狗特性还允许应用程序检测输入电压是否超出用户定义的高/低阈值。ADC 的供电电压要求在 2.4 V 到 3.6 V 之间, 输入电压 V_{IN} 的范围是 V_{REF-} ≤ V_{IN} ≤ V_{REF+}, V_{REF+}、V_{REF-} 为芯片相应管脚所接的电压值。A/D 转换的结果可以通过 DMA 模式传输, 减少对 CPU 的占用^[7]。

2.1 电源

STM32 的工作电压为 2.0~3.6 V, 通过内置的电压调节器获得所需 1.8 V 电压。数据采集模块外接 DC 5 V 电源, 这是机电设备的直流电源以及 USB 接口可以提供的。选用 LM1117-33 电源转换芯片将 5 V 转换为 3.3 V, 并在其输出端加上电容滤波网络, 滤除电源的尖峰干扰。

同时, 还要将电源转换输出的 3.3 V 进一步滤波, 为 ADC、DAC 提供稳定的参考电压 V_{REF}, 如图 2 所示。

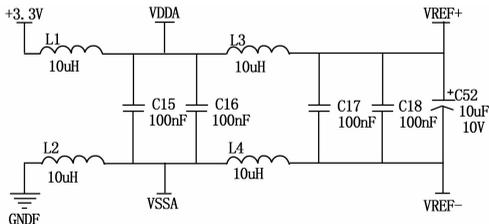


图 2 参考电压滤波原理图

2.2 信号调理

信号调理包括信号缩放、滤波、电气隔离和多路技术。信号滤波防止产生“混叠现象”; 信号放大对输入信号进行调理, 使信号在 A/D 转换的规定电压范围内。

由图 2 可知, V_{REF+} = 3.3 V, V_{REF-} = 0 V, 故片内 ADC 要求输入电压在 0~3.3 V 之间, 而传感器的输出信号多为标准信号, 即 0~10 mA、4~20 mA 的电流信号或 0~5 V、0~10 V 的电压信号。电流信号可以通过电阻转换为电压信号, 再进行调理。

对于单极性电压信号, 首先通过分压电阻降至 0~3.3 V, 经 RC 滤波后送到运放构成的电压跟随器, 以满足片内 ADC 的阻抗匹配要求, 电压跟随器的输出再经过限流电阻和稳压二极管, 送到微控制器的 ADC 输入端, 如图 3 所示。

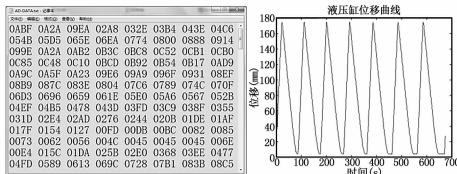


图 3 单极电压信号调理电路

2.3 存储

芯片内部的存储空间十分有限, 想要大量存储采集的数据就需要扩展存储空间, STM32F107 系列支持串行外设接口 (Serial Peripheral Interface, SPI), 可以使用 FLASH 芯片或 SD 卡扩展存储。

由于 SD 卡传输速度快而且可以移植文件系统, 选择 SD 卡作为存储媒介, 把需要存储的从机数据资料以文件形式保存在 SD 卡内, 方便操作人员对数据的直接获取和快速掌握。SPI 模式驱动 SD 卡需要连接: 串行时钟线 (SCLK)、主入从出数据线 (MISO)、主出从入数据线 (MOSI)、低电平有效的从机片选线 (SS), 此外还需连接 SD 卡槽的 CD 引脚, 用以判断卡槽中是否有 SD 卡。

2.4 CAN 通信

STM32F107VCT6 系列芯片内置两组 CAN 总线接口, 控制器为 bxCAN (Basic Extended CAN), 支持 CAN 协议 2.0A 和 2.0B, 波特率最高可达 1 Mbps。采用 TI 公司的 VP230 接口芯片实现 CAN 总线通信, 它的工作电压为 3.3 V, 具有过热关断保护功能。硬件电路如图 4 所示。

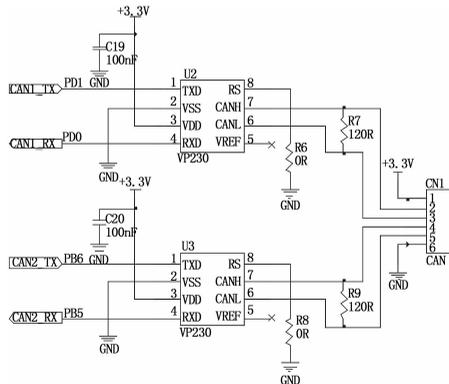


图 4 CAN 通信电路连接图

2.5 调试接口

STM32F107VCT6 芯片有一个符合 IEEE STD1149.1-1990 标准的 20PIN 的 JTAG 调试接口, 通过这个接口可以控制芯片的运行并获取内部信息。

3 软件设计

在数据采集系统中, 采集的高速性、连续性和大样本存储是 3 个重要的指标, 应用多线程技术是实现这些指标的理想方法^[8]。因此选用具有实时多任务内核的嵌入式操作系统——μC/OS-II。

软件设计主要是 μC/OS-II 的移植和任务程序的编写。在 Keil μVision4 下的 RealView MDK-ARM V4.12 开发环境中, 应用 STM32 官方固件库编写。固件库就是函数的集合, 而这些函数就是对寄存器底层操作的封装, 通过调用库函数实

现对寄存器的操作, 进而实现外设的功能。

3.1 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 移植

实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的移植是进行后续工作的基础。所谓移植, 就是使一个实时内核能在某个微处理器或微控制器上运行^[9]。为了方便移植, 大部分的 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 代码是用 C 语言编写的; 但仍需要用 C 语言和汇编语言编写一些与处理器硬件相关的代码, 因为在读写处理器寄存器时只能通过汇编语言来实现。

STM32F107VCT6 微控制器满足 $\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 的移植条件, 移植过程需要修改 3 个与处理器相关的文件, 包括: OS_CPU.H 定义数据类型、堆栈增长方向和堆栈单位, 声明开关中断和任务切换的宏; OS_CPU_C.C 中修改初始化任务栈函数 OSTaskStkInit(), 同时声明其它 9 个函数, 可以不包含代码; OS_CPU_A.ASM 中编写 4 个汇编语言函数。

3.2 任务程序编写

一个任务就是一个简单的程序, 每个任务都是整个应用的某一部分, 每个任务被赋予一定的优先级, 有它自己的一套 CPU 寄存器和栈空间。

任务主要按系统所要实现功能来划分; 而优先级的分配要综合考虑任务的重要程度和任务的运行时间, 原则是重要任务优先级高, 运行时间长的任务优先级不宜过高。综合分析数据采集模块的各项功能后对任务进行划分并分配优先级, 将最低优先级 OS_LOWEST_PRIO 定义为 11, 如表 1 所示。

表 1 系统任务划分及优先级

任务名称	优先级	任务功能
Task_Reset	4	软件复位
Start_Task	5	启动任务
Task_CANRX	6	CAN 接收
Task_CANTX	7	CAN 发送
Task_SD	8	数据存储
Task_AD	9	AD 处理
Task_BIT	10	自检测任务
OSTaskIdle	11	空闲任务

软件主函数示意性代码如下:

```
int main(void)
{
    /* 系统初始化 */
    OSInit(); /* 操作系统初始化 */
    /* 创建任务、消息机制 */
    OSStart(); /* 启动操作系统 */
}
```

系统初始化包括配置系统时钟、使能定时器、配置相关外设的时钟和工作模式以及操作系统的初始化。

主函数 main() 调用 OSTaskCreate() 创建启动任务, 启动任务再通过调用 OSTaskCreateExt() 创建具体的功能任务。

Task_AD 任务是对片内 ADC 转换的结果进行数字滤波, 去除干扰, 得到一个可信度较高的结果。

Task_SD 任务将数字滤波的结果存入 SD 卡。程序编写时, 移植了 FatFs, 这是一个开源的文件系统模块, 专为小型嵌入式系统而设计。FatFs 的编程遵守的是 ANSI C 格式语法标准, 独立于硬件结构, 在不做任何修改的情况下就可以一直

到常用的微控制器中^[10]。

3.3 任务间通信与调度

$\mu\text{C}/\text{OS}-\text{II}$ 提供了四种通信和同步机制, 即: 信号量、事件标志组、消息邮箱和消息队列^[11]。软件设计时, 充分利用了这些通信机制, 来协调各任务, 并实现数据的传递。任务结构如图 5 所示。

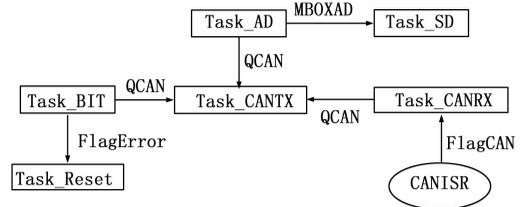


图 5 任务结构图

3.4 数字滤波算法

通过软件算法从采样数据系列中提取逼近真值数据的方法, 称为数字滤波。数字滤波具有硬件滤波的功效, 却节省了硬件投资。由于数字滤波需要消耗一定的 CPU 机时, 在实时信号处理中多用于低通滤波。车载装备上需要检测的模拟信号多为位移、角度、倾角等变化缓慢的量, 因此可以使用数字滤波算法。

采用滑动平均滤波的方法, 即参与平均运算的历史采样值个数固定但内容不断更新, 相当于一个滑动的时间窗口^[12]。其数学描述为:

$$y_n = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{n-m+i}$$

式中, $x_{n-m+i} \sim x_n$ 共 m 个采样值为当前滑动窗口中包含的数据样本, y_n 为第 n 次采样后滑动平均滤波算法放入输出结果。

程序代码如下:

```
while(1)
{
    history[p]= ADCConvertedValue[p];
    /* 从内存获取新的采样值 */
    p++;
    if(p==M) p=0;
    s=0;
    for(i=0;i<M;i++) s+=history[i];
    samp=s/M;
    ....}
```

4 实验结果与分析

利用 FESTO 液压实验平台搭建一个单缸往复运动的回路, 数据采集模块采集液压缸的位移信号, 再通过 CAN 总线发送给主控计算机, 同时将采集的数据存储在 SD 卡中。

实验系统中的位移传感器量程为 200 mm, 输出信号 DC 0 ~ 10 V。主控计算机通过 PCI9820 通信卡连接 CAN 总线, 软件界面采用 LabVIEW 编写。LabVIEW 调用 PCI9820 的库函数, 从总线上获得 CAN 报文, 解析后得到数据采集模块发送的位移信息, 并以位移—时间曲线图的形式直观地展现出来, 如图 6 (a) 所示。

调整液压缸的伸缩速度, 再次进行采集, 得到图 6 (b) 所示的位移曲线。曲线图中, 位移增大的阶段斜率比较大, 对应于液压缸的伸出速度快于缩回速度, 这是由于无杆腔作用面

绘制。绘制结束后调用 daout->ResetEvent(), 返回第 4 步。

3.2 软件应用实例

在服务器端对某型机颤振试验实时记录数据以 512 点/秒速率进行回放, 在客户端运行曲线绘制软件进行曲线绘制与打印; 将实时记录数据进行事后数据处理, 选择同一参数绘制时间历程曲线, 选取同一时间段内曲线进行对比, 如图 8 所示,

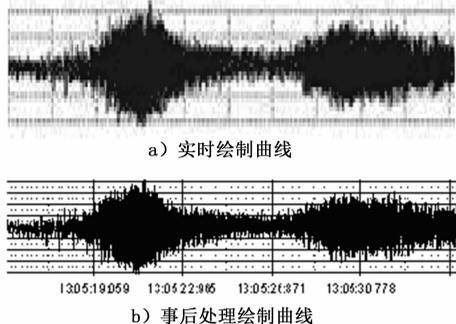


图 8 实时绘制曲线与事后处理绘制曲线比较

(上接第 1659 页)

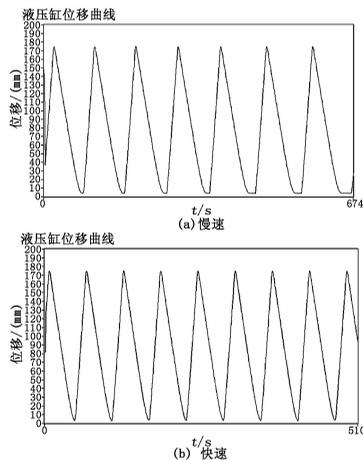


图 6 液压缸实时位移曲线图

积。通过对比可以看出, 数据采集模块能够以较高的精度获取传感器数据, 并及时地通过 CAN 总线发送至主控计算机。

在离线的情况下, 还可以通过 SD 卡获取系统运行时的数据, 导入 MATLAB 也可以得到位移曲线, 还可以进一步分析处理。图 7 为 SD 卡存储的液压缸位移数据。

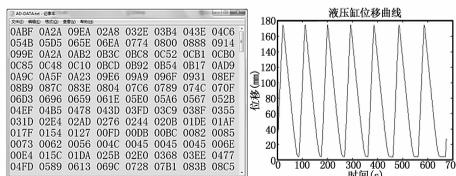


图 7 SD 卡存储的数据

5 结论

本文提供了一种数据采集模块的设计方案, 并完整介绍了该模块的硬件设计和软件实现。选用的 STM32 微控制器具有

可见实时绘制的曲线与事后绘制的一致, 准确反映了参数变化情况。

4 结论

经多次试验证明, 基于 NI-DAQ 的高采样曲线绘制软件在客户端准确实现了监控数据的实时绘制, 与原有软件相比具有配置简单、使用灵活等特点, 更加符合监控资源网络化、分布式的发展要求。在颤振等风险科目的安全监控中, 将发挥重要的辅助作用。其稳定性与准确性, 也将在飞行试验中得到进一步的验证和优化。

参考文献:

- [1] 祁 春, 段宝元. 遥测数据实时处理软件系统及其应用 [J]. 科学技术与工程, 2010, 10 (28): 7047-7050
- [2] 覃 燕, 段宝元. 飞行试验颤振数据实时监控系统 [J]. 现代电子技术, 2011, 11 (34): 63-65
- [3] NI 公司. 传统 NI-DAQ 用户手册 [Z].
- [4] 李幼仪, 甘 志. C++ Builder 高级应用开发指南 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002

丰富的外设接口, 易于功能扩展。嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 简化了程序的编写和维护, 数字滤波算法, 提高了采样精度。实验结果表明, 该数据采集模块具有体积小、功耗低、实时性好、可靠性高等特点, 有较强的实用性, 适合在车载装备上使用。

参考文献:

- [1] 强 宁. 基于 TMS320F2812 的航空发动机转速信号采集研究 [J]. 电子测量技术, 2008, 31 (11): 76-79.
- [2] 谢拴勤, 王文焕. 基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 和 CAN 总线的网络化测控系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2008, 16 (7): 926-928.
- [3] 毕 盛, 闵华清, 李 淳, 黄夔金, 陈必强. 姿态传感器采集测试系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2011, 19 (7): 1562-1564.
- [4] Jean J. Labrosse. 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ (第 2 版) [M]. 邵贝贝, 等译. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
- [5] 刘辉邦, 褚金奎, 支 伟, 李晓雨. 基于 STM32 的无人机姿态测量控制系统设计 [J]. 传感器与微系统, 2013, 32 (8): 108-110.
- [6] 吴华玉. 基于 STM32 单片机的嵌入式仪器 A/D 接口设计 [J]. 长春工业大学学报 (自然科学版), 2013, 34 (4): 448-451.
- [7] Zhang H F, Kang W. Design of the Data Acquisition System Based on STM32 [J]. Procedia Computer Science, 2013, 17: 222-228.
- [8] 闵 建, 程 明. 嵌入式实时数据采集系统的设计与实现 [J]. 微计算机信息, 2009, 25 (7-2): 98-100.
- [9] 郑 朋. 在 Cortex-M3 上实现基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 和 CAN 总线的实时数据采集系统 [D]. 青岛: 青岛大学, 2011.
- [10] 李世奇, 董浩斌, 李荣生. 基于 FatFs 文件系统的 SD 卡存储器设计 [J]. 测控技术, 2011, 30 (12): 79-81.
- [11] 刘波文, 孙 岩. 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 经典实例: 基于 STM32 处理器 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012.
- [12] 周慈航. 嵌入式系统软件设计中的常用算法 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2012.