

# 基于 CAN 总线的大型壳体结构分布式测量系统

赵永刚<sup>1</sup>, 张国义<sup>1</sup>, 刘晓霏<sup>2</sup>, 薛红前<sup>1</sup>

(1.西北工业大学 机电学院, 陕西 西安 710072;

2.首都航天机械公司, 北京 100076)

**摘要:** 应用 CAN 总线的分布式数据采集系统对大型飞行器壳体结构的应力应变在线实时监测是进行结构监测的有效手段, 在介绍 CAN 总线和分布式数据采集的基础上, 设计以 TMS320VC5416 DSP 为节点核心的测量系统, 利用 CAN 总线对数据采集与传输进行控制。并给出基于 TMS320VC5416 DSP 数据采集系统的相应节点硬件电路设计及 PC-CAN 卡程序设计。

**关键词:** CAN 总线; TMS320VC5416; 分布式测量系统

中图分类号: TH86

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)09-0071-03

## Design of distributed measurement system of large shell structure based on CAN bus

Zhao Yonggang<sup>1</sup>, Zhang Guoyi<sup>1</sup>, Liu Xiaofei<sup>2</sup>, Xue Hongqian<sup>1</sup>

(1.School of Mechanical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;

2.Capital Aerospace Machinery Company, Beijing 100076, China)

**Abstract:** Data acquisition system based on CAN bus was utilized to online monitor the stress and strain of shell structures of large flight vehicles in real time, it is an effective approach of structural monitoring. This study was based on data acquisition system and CAN bus, took TMS320VC5416 DSP as centre, then, performed control on both data acquisition and CAN bus data transmission. Design of hardware circuit based on TMS320VC5416 DSP data acquisition system, relevant Child node design and PC-CAN card software design were given.

**Key words:** CAN bus; TMS320VC5416; distributed measurement system

目前,大型飞行器壳体运输贮存设计一般不考虑壳体柔性,但是大型火箭壳体、某些有超薄机翼的结构、特别是有大型薄壁结构的大部件则必须考虑结构体柔性,这就要求解决一系列问题,例如承载型架的效能(载荷分配、行程、效率、过载、滞后系数等)受到的影响、壳体储存能量的耗散效率等问题等。因而,研究大型壳体结构在运输贮存过程可能出现的问题并寻求解决这些问题的可行方案就具有非常重要的工程应用价值,而获得结构监测数据则是相关研究的前提和验证措施有效性的保证手段,采用基于 CAN 总线的分布式在线测量系统定期检测是获取大型壳体运输贮存过程中变形及应变数据的有效手段<sup>[1-2]</sup>。

现代结构监测技术对于结构损伤检测、损伤定位、载荷检测、结构损伤自动修复、结构剩余寿命预测等成

为主要的支撑技术<sup>[3-4]</sup>,本文采用基于 CAN 总线的传输采集系统在保障大型飞行器壳体结构监测方面起着关键作用。

### 1 基于 DSP 的数据采集节点设计

本文设计的数据采集系统是一种分布式系统,利用现代工业控制和网络技术,通过对多个分散在大型壳体结构上的传感器信号进行实时测量、传输控制及远程显示等,可以及时掌握大型壳体结构各个监测点的数据状态,从而保证结构的安全可靠。

系统由 CAN 控制器芯片、DSP 和 PC 机组成,即由 CAN 总线通信模块、电压采集和处理电路、中央控制单元三部分组成,并通过 USB 总线与上位机之间进行通信。数据采集系统通过节点结构的区别可分为两种模式:一种模式为传统模式,即系统的各个节点都采用

CPU 加控制器方式来实现,节点间的结构都一样,都可以对整个网络进行检测和控制,无主节点和从节点的区分;另一种模式则采用主节点和从节点的结构,主节点采用 CPU 加控制器结构来检测和控制整个节点,从节点则利用 CAN 总线 I/O 扩展器来实现采集和控制现场信号。显然,分布式数据采集系统应着重选择抗干扰能力强、性能稳定的系统方式和结构元器件。研究表明,TI 公司 DSP 器件 TMS320VC5416 的数据处理能力明显优于 51 系列器件,因此,系统的 PC-CAN 接口卡及各从节点采用 MCP2510CAN 控制器和 DSP 器件 TMS320VC5416 是可行的。

### 1.1 A/D 采样电路与 DSP 的接口设计

鉴于 TI 公司的串行芯片应用广泛,本文设计采用其串行 A/D 采样芯片。考虑到 TMS320VC5416 芯片的三个 McBSP 接口可以方便地与 SPI 器件相连<sup>[5]</sup>,采用了 TI 公司生产的具有 SPI 串行接口的 TLC2574。TLC2574 支持连续的数据流传输,通过 SPI 串口与 TMS320VC5416 实现无缝对接。

TLC2574 有四种转换模式(模式 00,01,10,11),根据转换器如何采样和采用哪一个主机接口选择相应的模式。TLC2574 以 DSP 的同步时间脉冲为基准发送和接收数据,在单次模式下首先通过命令寄存器选择某通道,才能对该通道进行 A/D 转换。因为命令存储器为 4 位存储器,所以完成一次 A/D 转换需要 30 个 SCLK(同步时钟周期),其中包括存储器需要 SCLK 4 个,采样需要 SCLK 12 个,模拟量转换需要 SCLK 14 个。需要指出的是,TMS320VC5416 的 McBSP 接口设置十分重要,保证该接口在 SPI 模式下的时序与 TLC2574 相对应,才能使 TMS320VC5416 正常工作。

通过上面对 TMS320VC5416 同步串行口及 TLC2574 外接信号的特点分析可以看出,利用两者可以进行无缝对接的优点,通过 TMS320VC5416 的同步时钟信号作用来实现 A/D 转换数据的传输。图 1 是 TMS320VC5416 同步串行口与 TLC2574 连接图。

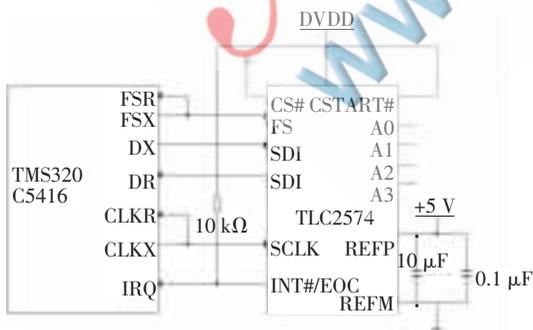


图 1 TMS320VC5416 与 TLC2574 的接口电路设计

考虑到充分利用 TMS320VC5416 的 McBSP 口的强大功能,设计采用 TI 公司的 TLC2574 芯片支持串行数据接收,一方面可以完美连接 TMS320VC5416,支持连续的

数据流传输,另一方面因为该芯片有 5 V 模拟供电和 3.3 V 数字供电方式可供选择,符合 TMS320VC5416 的 3.3 V 信号环境,可以与 TMS320VC5416 无缝对接,而不会出现其他芯片电平不匹配的问题,从而降低电路复杂程度和制造成本。

### 1.2 MCP2510 CAN 控制器与 DSP 的连接

本设计的 CAN 控制器采用 Microchip 公司生产的 MCP2510<sup>[6]</sup>。它支持被动和主动模式的 CAN1.2、CAN2.0 A/B 协议,MCP2510 可以接收和传输 CAN 标准帧和 CAN 扩展帧,并实现消息管理和接收过滤器功能。它有 3 个发送缓冲器和 2 个接收缓冲器,这样可以降低处理器对消息管理的需要。通过 TMS320VC5416 的 McBSP 接口与 MCP2510 的 SPI 接口通信,其最高数据率可达 1 Mb/s,已被广泛应用在交通及环境控制、医疗仪器、工业自动化等领域。

CAN 控制器的总体特点:兼容 CAN V2.0A/B 协议,支持 0~8 个字节可变长度消息;能处理 CAN 标准帧和 CAN 扩展帧,速度可编程并且支持远程帧;带有屏蔽接收过滤器和 3 个发送缓冲器以及 2 个接收缓冲器;并有 6 个接收过滤器;其中发送缓冲器有优先发送和退出的功能,接收缓冲器具有优先消息存储功能。

从节点结构如图 2 所示,其硬件有高速 SPI 接口,可以选择是否使能的中断输出脚,同时带有可编程预分频器的时钟输出;接收缓冲满输出脚有两种配置方式,分别为配置为通用的数据输出脚或者配置为接收缓冲器满中断输出;并可选择请求发送的输入脚来作为通用数据输出脚,或选择作为请求发送缓冲器立即启用消息发送的控制脚;有休眠模式,可降低能耗,低能耗 CMOS 技术操作电压在 3.0 V~5.5 V;休眠模式下典型电流从正常运行时的 5 mA 变为 10  $\mu$ A。

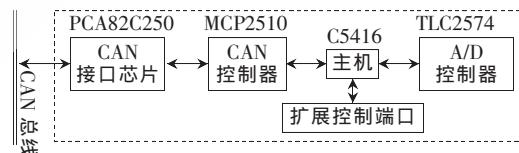


图 2 从节点结构

### 1.3 CAN 总线通信电路

图 3 为 CAN 的节点通信部分电路。CAN 控制器用 SPI 接口与 TMS320VC5416 相连接。TMS320VC5416 具有主同步串行口,经过配置作为 SPI 接口的输入口,可以实现最高速度 1 Mb/s 的 SPI 串口通信。在使 MCP2510 的片选脚置低电平的前提下,在时钟 SCK 上升沿,通过 SI 引脚把数据或命令送到 MCP2510,同时 MCP2510 能够在 SCK 下降沿通过 SO 引脚送出数据。

TMS320VC5416 的中断输入脚连接 MCP2510 中断输出脚 INT。由于 MCP2510 本身并没有总线驱动能力,所以另外需要 82C250 这种 CAN 驱动器把输出的 CAN 消息发送到总线上去。

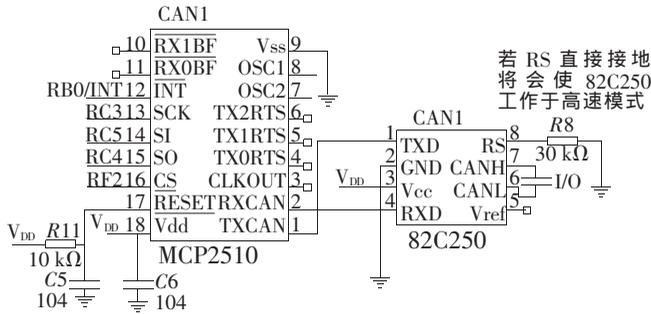


图3 CAN通信电路

CAN 驱动器 82C250 主要特性是：对 ISO/DIS 11891 标准完全兼容；抗瞬间干扰能力强，通过斜率控制可有效降低射频干扰，可有效保护总线；能有效降低电池与地之间短路的可能；抗热能力强；低电流待机方式；最高速率可达 1 Mb/s；支持最大 110 个节点，任一节点的掉电不会对总线产生影响。

选用 Philips 生产的 PCA82C250 作为 CAN 接口芯片。斜率控制模式通过在 82C250 芯片的 RS 脚和地之间接上 30 kΩ 电阻实现。

## 2 PC-CAN 接口卡设计及网络拓扑

### 2.1 PC-CAN 接口卡

通过设计 PC-CAN 接口卡可以完成从节点与上位机之间的数据交换，解决了 PC 机无法和 CAN 总线直接通信的问题。接口卡可以双向转换 CAN 总线不同波特率和上位机的 USB 串口波特率，转换上位机的 USB 串口与 CAN 总线间的电平；双向转换 CAN 总线上的数据包和上位机的 USB 串口比特流，数据包每帧为 8 B；可以 CRC 检验传送的数据，并对错误的消息重新发送。

接口卡的设计要求是硬件构成简单、工作可靠、性能稳定，同时 USB 串口和 CAN 总线的通信功能在设计中亦必不可少，在较多从节点下运算速度应满足需要。

此外，系统 A/D 采样率高，为此接口需要有较高的数据传输带宽，才能实时传输采集信号和 DSP 处理结果。选用 Cypress 公司的 CY7C68013-56PVC 作为接口芯片，该芯片的 USB2.0 高速接口具有即插即用、便携移动的优点。其 3.3 V 的电源与 DSP 要求吻合，能够直连 TMS320VC5416 接口。其片上带有的 2K×16 bit 的 FIFO，通过 SLAVEFIFO，模式下的 AUTO-IN/OUT 方式可以方便地传输数据和控制命令。

PC-CAN 接口卡主节点系统原理图如图 4 所示。

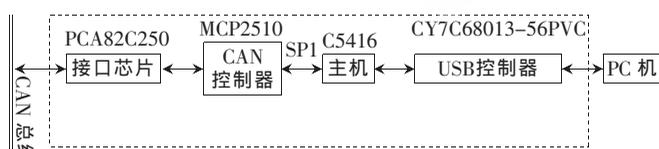


图4 接口卡主节点系统原理图

### 2.2 系统连接方案

分布式测量系统连接方案如图 5 所示。主机通过 USB 接口对主节点进行通信和控制，主节点通过 CAN

网络与从节点 1、2、3、4、... 相连。

### 3 PC-CAN 接口卡软件设计

为了监测和处理网络数据，需要利用上位机软件来监测和控制整个 CAN 系统。实现上位机与从节点之间传输数据和控制。

在上位机与 PC-CAN 接口卡之间传递消息时，发送方的 PC-CAN 接口卡软件需要在每一帧数据的后面附加校验和字节。实现方法是 PC-CAN 接口卡软件对其每一帧内的载荷数据逐字节相加取和，然后再将总和值的低 8 位作为校验和的标志值字节随载荷数据一起发送。接收方在接收到数据帧后需要对载荷数据每一个字节相加取和，再将取和的结果与接收到的校验和值进行对比。当出现干扰产生误码时，那么两个校验和值不相等，即判断舍弃该帧。若校验和值相等则说明接收载荷数据正确。采取校验和的方法可以大为减少误码出现的机会（显然其并不能够保证数据的传送成功和绝对正确）。PC-CAN 接口卡的软件整体流程如图 6 所示。

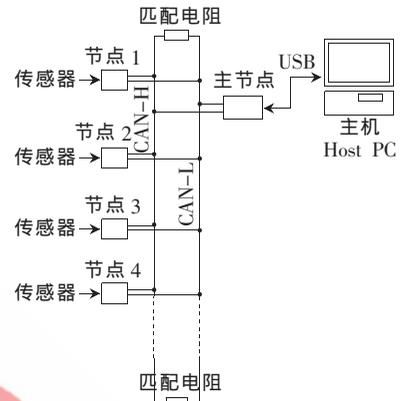


图5 分布式测量系统连接图

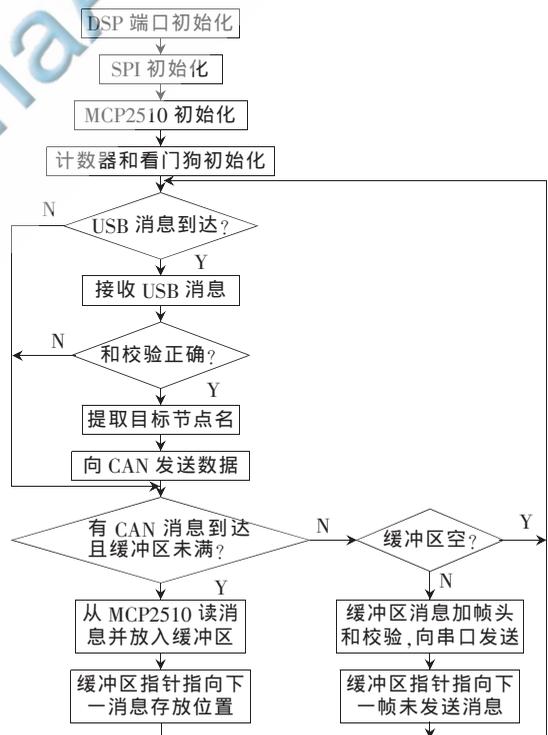


图6 PC-CAN 接口卡软件流程图

在介绍 CAN 总线和分布式数据采集后，阐述了本文

方案所开发的基于 CAN 总线的分布式测量系统, 系统各节点以 TMS320VC5416 为核心, 各节点间以 CAN 总线连接通信, 能够搭配不同的传感器进行各种参数的测量。最后系统实现的指标为: 最多容纳 100 个节点; CAN 总线速率 32 kb/s; 每个从节点支持 4 路模拟采集通道; 每个从节点支持 8 路开关量输出。

#### 参考文献

- [1] 张崇巍, 付河, 朱敏. 电动叉车 CAN 总线控制系统中人机交互节点设计[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2000, 23(1): 81-85.
- [2] 朱敏, 张崇巍, 谢震. CAN 总线在数据采集与控制系统中的应用[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2002, 25(3): 345-349.
- [3] HOUSNER G W, BERGMAN L A, CAUGHEY T K. Structural control: past, present, and future [J]. Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 2003, 123(9).
- [4] FUJUNO Y, ABE M. Structural Health Monitoring in civil

infrastructures Research Activities at the Bridge and Structure[J]. Laboratory of the University of Tokyo. Structural Healthy Monitoring and Intelligent Infrastructure, 2003, 11, Tokyo, Japan.

- [5] 任治刚, 孙洪波, 张泽. TMS320C54x 系列 McBSP 串口特性及其应用[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2001(3): 336-339.
- [6] Microchip Technology Inc. MCP2510 Data Sheet[Z]. 2002. (收稿日期: 2013-02-04)

#### 作者简介:

赵永刚, 男, 1985 年生, 硕士研究生, 主要研究方向: 航空宇航制造工程。

张国义, 男, 1974 年生, 工程师, 博士研究生, 主要研究方向: 航天测控技术。

刘晓霏, 男, 1978 年生, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向: 航天制造技术。