

基于 SM 卡的汽车 ESP 数据采集系统设计*

于良耀, 宋 健, 吴凯辉

(清华大学 汽车安全与节能国家重点实验室, 北京 100084)

摘要: 基于 SM 卡的汽车 ESP 数据采集系统。该系统使用 XC164CS 微控制器进行数据采集和处理, 使用大容量的 SM 卡作为数据存储介质, 并在 FAT16 文件系统的基础上, 提出一种适用于嵌入式数据采集系统的数据存储方案。

关键词: 数据采集 SM 卡 电子稳定程序

在汽车逐渐普及的今天, 汽车的安全性能尤其是主动安全性能日益受到重视。汽车电子稳定程序 ESP (Electronic Stability Program) 是一种先进的汽车底盘控制系统。ESP 的功能就是监控汽车的行驶状态, 在紧急躲避障碍物、转弯等容易出现转向不足或过度转向等不稳定状况时, 利用动力系统和制动系统的干预使车辆不偏离理想轨迹^[1]。

由于 ESP 是直接关系到汽车安全性的重要部件, 在批量装车之前, 汽车厂商必须经过样品试制、产品鉴定、小批试制、大批生产等必要阶段。在每一个阶段都伴随着大量的可靠性试验。本文所开发的数据采集系统正是为这些试验而设计。鉴于其特殊的使用条件, 试验必须满足如下基本要求: (1) 能够进行连续、长时间的数据采集, 时间为几天甚至一个月; (2) 由于汽车试验多在复杂工况下进行, 要求保证数据采集系统的可靠性; (3) 由于多台车辆有可能同时进行试验, 因而应该控制系统成本。

根据上述要求, 本文设计了基于 SM 卡 (Smart Media Card)、以 Infineon 公司的 XC164CS 微控制器为核心的数据采集系统。为了解决文件存取兼容性与数据存储实时性的矛盾, 本文在 FAT16 文件系统的基础上, 提出了一种适用于嵌入式数据采集系统的数据存储方案。

1 采集系统整体方案

图 1 为本文设计的 ESP 数据采集系统示意图。其中安装有 ESP 的试验车辆, 通过线束把传感器信号送入采集系统 (图 1 中虚线框 B) 的信号调理模块, 经过调理后的信号由微控制器通过 A/D 转换或者 I/O 口直接读入。另外, 由于 ESP 工作过程中需要通过 CAN 总线与自动变速器电控单元、发动机电控单元、电动助力转向电控单元等通信, 通过 LIN 总线与汽车上的其他辅助设备通信, 而这两种总线是目前汽车电控中最

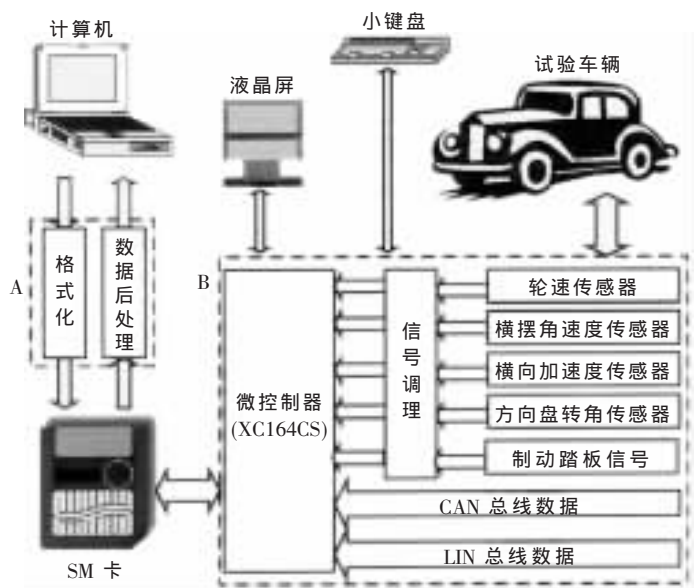


图 1 ESP 数据采集系统

常用的总线, 故设计了 CAN 总线及 LIN 总线的输入接口, 可以对车辆的重要信号进行间接采集, 采集后的数据实时保存在 SM 卡中。由于 SM 卡是非易失性 (nonvolatile) 存储器, 掉电时不会丢失, 因而可保证数据的完整性。

存有 ESP 数据的 SM 卡由计算机中的数据后处理软件 (图 1 中虚线框 A) 通过读卡器读出并显示。同时, 计算机可以对 SM 卡进行特定的格式化操作, 为下一次数据采集做好准备。

为了便于车载试验的操作, 及时了解当前的即时数据, 系统设计了液晶屏及小键盘的接口。

采集系统的采样周期为 50ms, 每个采样周期采集的数据最大为 50B。选用 256MB SM 卡时, 可连续采样 72 小时。

* 国家自然科学基金资助项目 (50575120)

2 采集系统设计

2.1 硬件设计

图 2 为数据采集系统的电路原理图。

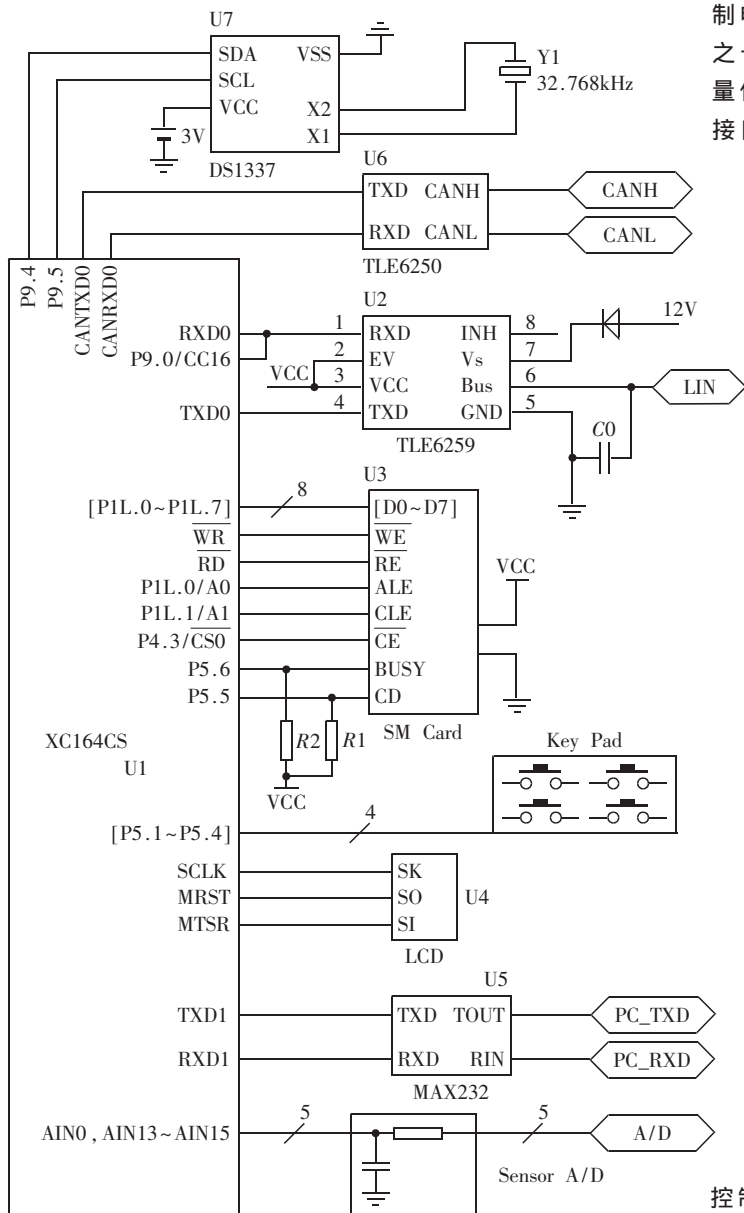


图 2 电路原理图

微控制器 (U1) 选用了 Infineon 公司最新推出的 XC164CS。该芯片可工作于 40MHz 的时钟频率, 具有 128KB 的内置 Flash 存储器, 增强的 DSP 指令集, 极快的运行速度, 适于数据流的传输和命令交互; 在汽车温度等级 (-45℃~125℃) 下可靠工作, 具有双串口、双 CAN 接口, 非常适于功能扩展; 其内核电压为 2.5V, 功耗较低, I/O 端口为 5V, 适于汽车控制输入与输出。该芯片含有外部扩展总线, 可以方便地扩展 8 位或 16 位外部设备。

由于 ESP 在可靠性试验时经常进行连续、长时间的数据采集, 因而必须使用可插拔的大容量存储介质, 目前常用的有 SM 卡、SD 卡、CF 卡、IDE 硬盘^[3]等。由于车

辆可靠性试验经常在颠簸、紧急制动、甩尾、测滑等极限工况下进行, 内置机械结构的 IDE 硬盘和接口过于细密, CF 卡抗冲击能力较差, 而 SD 卡必须通过专用的控制电路存取, 故本文选用 SM 卡。SM 卡是常用的闪存卡之一, 采用 NAND 型闪存, 体积很小, 厚度仅 0.76mm, 重量仅 1.8 克, 具有较高的擦写性能。SM 卡采用扁平触点接口, 连接非常可靠。其物理格式和逻辑格式基于 ATA 和 FAT 标准, 使得不同的系统间数据交换较为方便, 从而确保了不同设备模型之间的兼容性^[5]。

如图 2 所示, SM 卡 (U3) 与 XC164CS (U1) 采用外部总线方式连接。D0~D8 连接到 U1 的 P1L 口 (即 AD0~AD7), 读写信号线 RE/WE 连接到 U1 的 RD/WR, CD 是卡检测信号, 通过该线的信号高低, 可判断是否有 SM 卡可靠插入。SM 卡的地址锁存 (ALE)、命令锁存 (CLE) 分别与 U1 的地址线 A0~A1 连接, 片选信号 CE 连接至 U1 的 CS0。对 SM 卡执行不同的读写命令时^[6], 只需要对相应的地址操作即可, 因而可充分保证较高的存取速度。

对于 CAN 总线的数据采集, 由于 XC164CS 微控制器内部含有 CAN 总线控制器, 故只需扩展一片收发器即可, 本文选用了专为汽车应用而设计的 TLE6250。而对于 LIN 总线, 使用内置的串口 0 作为控制器, 扩展一片 TLE6259 接口芯片 (U2)。U2 的 TXD/RXD 分别连接到 U1 串口 0 的收发端, 同时 RXD 端连接到 U1 的 P9.0/CC16 捕捉输入端口, 该端口用于 LIN 总线波特率的自动检测。

实时时钟芯片选用 DS1337, U1 通过其端口 P9.4、P9.5 模拟 I²C 时序获取当前实时时间, 并与数据一同记录在 SM 卡中。

信号调理模块对来自 ESP 传感器的模拟信号滤波后, 送入 U1 的 A/D 输入口。

另外, 使用 MAX232 扩展了与计算机通信的串口、用于数据显示的 LCD 模块和用于常规控制的小键盘。其中, LCD 选用 SPI 通信方式, U1 内置 SPI 控制器, 故可直接支持。

2.2 数据存储方案

数据存储方案是系统设计的重点和技术难点。

随着嵌入式系统的广泛应用, 对系统中数据操作灵活性的要求越来越高, 文件系统的使用回避了存储介质的地址空间, 提供与底层物理存储介质无关的、清晰的 API 函数, 使上层应用不需要关心底层存储器。因此, 加载文件系统是嵌入式系统发展的必然结果。目前, 常用的文件系统有 JFFS、FAT (FAT12、FAT16、FAT32) 等。FAT 文件系统是微软公司制定的文件系统标准^[4], FAT16、FAT32 较常用。FAT16 可管理多达 2GB 的存储空间, 较 FAT32 组织结构简单, 适于对存储容量较小的存储体使用, 在 SM 卡的存储性能优于 FAT32 系统。

文件操作的灵活性和实时性是一个矛盾,即使是相对简单的 FAT16 文件系统,在嵌入式系统中实时性也较差,无法直接应用于 ESP 的数据采集。另外,在对 FAT 文件系统操作时,常规的方法需要更新文件分配表 (FAT) 和文件目录表 (FDT),这在使用条件恶劣的车载环境下,有可能会使数据完全丢失。本文基于 FAT16,在保证兼容性的前提下,提出了一种新的解决方案。其基本思想为:使用保留扇区进行标志设置和参数传递;PC 上的数据后处理软件使用文件系统 API 读取数据;数据采集系统使用直接扇区存取写入数据,并且只对数据区操作。

图 3 为 SM 卡在 Windows 中完全格式化后生成的典型 FAT16 文件系统结构,具体扇区编号会因磁盘分区大小的不同而有所变化。

主引导记录 (MBR)		绝对扇区编号
保留扇区	有效 SM 卡标志 FLAG0	000000H
	有效数据标志 FLAG1	000001H
	数据扇区范围 [SECO, SECI]	
分区 1	DOS 引导记录 (DBR)	00003FH
	文件分配表 (FAT)	000065H
	文件目录表 (FDT)	000727H
	数据区	000728H SECO 01B6BH SECI
分区 2		
分区 3		
分区 4		

图 3 FAT16 文件系统结构

第 01~3F 扇区为保留扇区,操作系统不对其操作,有时被用来进行软件或数据的加密。本文利用这部分扇区进行标志设置和参数传递,主要有:有效 SM 卡标志 FLAG0、有效数据标志 FLAG1、数据扇区范围 [SECO, SECI]。

数据存储方案实施的关键为:制作原始镜像文件并初始化 SM 卡;有效数据定位;快速格式化方法;数据写入策略。

(1) 制作原始镜像文件并初始化 SM 卡

首先使用 FAT16 文件系统对 SM 卡格式化。根据 SM 卡的容量 (这里选用 64MB) 在硬盘中生成一个比其略小的文件,如 60MB,并把该文件内容初始化为 0。设置文件属性为只读 (可以在 VC 中使用 Cfile 类的 setLength 函数),然后将该文件拷贝到 SM 卡中。此时操作系统会自动更新 MBR、DBR、FAT、FDT 部分。因为是第一个文件,其对应的扇区按顺序存放。使用 Windows 的 API 函数获得文件所在的起始及结束扇区号 SECO、SECI^[6],对于采集系统的固件程序,使用这两个顺序号来定位可用的数据空间并写入数据。只要把采集到的数据保存在区间 [SECO, SECI] 中,操作系统便可通过读文件的方式得到,因而可充分利用文件系统的优势。初始化结束前,要正

确设置保留扇区的有关标志和参数,如图 3。

(2) 有效数据定位

有效数据按照扇区顺序保存,每个扇区含有 10 个采样周期的数据,故一个扇区对应: $10 \times 50\text{ms} = 0.5\text{s}$ 。扇区采用的数据结构如下:

```
typedef struct tagSECT_DATA {
    u32 head_flag;           //4 字节
    RECORD_DATA rec[10];    //500 字节
    u32 chksum;             //4 字节
    u32 tail_flag;          //4 字节
} SECT_DATA;
```

该数据结构通过开始的 4 个标志字节来表征是否为有用数据,即把 head_flag 赋值为 FLAG1,变量 rec[10] 是当前扇区的有效数据,chksum 为有效数据的校验和;tail_flag 为扇区结束标志,也赋值为 FLAG1。上电时,采集系统使用对顺序存储结构效率较高的二分查找法查找可用的数据空间。使用 64M 字节的 SM 卡,最多需要 17 次读扇区操作,每次读扇区约为 8ms,即查找时间不会超过 $17 \times 8\text{ms} = 136\text{ms}$ 。如果通过 FAT 表方式存取文件,最多需要 800 次读扇区操作,用时 6.4s,并且占用缓存太多。对于 PC 中的数据后处理软件,因为读取速度较快,可采用顺序判断的方式来定位有效数据,也可采用二分法查找。

(3) 快速格式化方法

根据前文所述,当整个 SM 卡被写满有效数据时,若想重新使该卡可用,则需要清除每个扇区开始的标志字节,这将导致操作时间太长。最有效的办法是改变标志字节。如图 3 所示,数据后处理软件通过其配置程序修改有效数据标志 FLAG1。相应地,在采集系统上电初始化时,读取该标志,从而实现快速格式化。

(4) 数据写入策略

采集系统在收集 10 个周期的数据后,填写一个扇区的数据结构 (SECT_DATA),写入 SM 卡。一个扇区的写入时间最大为 8ms,故 50ms 的周期可以保证实时写入。在出现异常 (突然断电、热插拔操作等) 时,由于 SM 卡的非易失性,可保证断电之前的数据不会丢失。重新上电后,通过查找程序可重新定位有效数据区,并顺序记录。

3 典型试验曲线

图 4 为一组典型试验曲线,试验环境为黑河市冬季试车场的冰雪路面。采集系统将数据记录在 SM 卡后,由数据处理软件从 SM 卡读出并显示。为了清晰起见,图 4 只选取了 8 秒采样时间。在图 4 中,显示了横向加速度 (图中③) 和左后、左前轮速传感器的曲线 (图中①②)。从这些曲线中可知,这是一个汽车甩尾的极限工况试验。

本文设计的汽车 ESP 数据采集系统,用于汽车的可
(下转第 65 页)

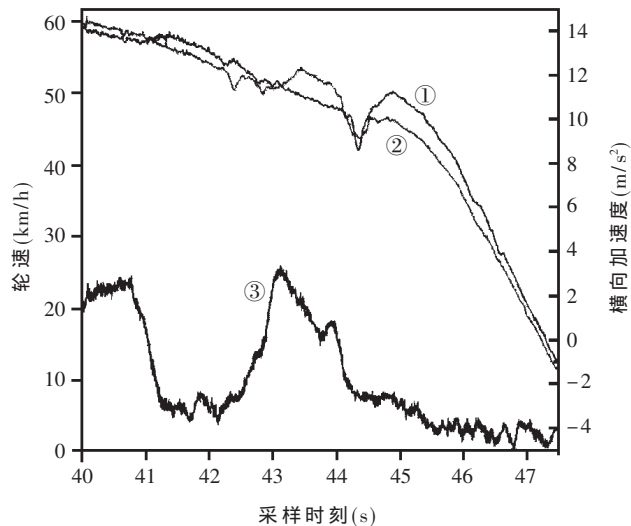


图 4 典型试验曲线

靠性试验,可连续及长时间地采集相关传感器数据和汽车总线数据,并可对所采集的数据实时保存。该系统使用 XC164CS 微控制器进行数据采集和处理,使用大容量

的 SM 卡作为数据存储介质。在 FAT16 文件系统的基础上,提出了兼容性强、数据存取方便、适用于嵌入式数据采集系统的数据存储方案。本采集系统在道路实车试验中得到验证。

参考文献

- 1 Anton T.Van Zanten, Robert Bosch GmbH. Evolution of Electronic Control System for Improving the Vehicle Dynamic Behavior[J]. AVEC'02, 2002
- 2 孙东, 顾鲁春. 实时应用中软件系统的设计与实现[J]. 测控技术, 2006; 25(1): 49~51
- 3 马渊, 谢立. 基于单片机的 CF 卡复制系统[J]. 电子技术应用, 2005; 31(12): 26~28
- 4 Microsoft Corporation. FAT32 File System Specification[S]. Hardware White Paper, 2002, 6
- 5 SSFDC Forum Technical Committee. Smart Media Electrical Specifications[S]. 1999, 19
- 6 于良耀, 宋健. 闪存直接存取[J]. 电脑编程技巧与维护, 2006; 5: 78~80

(收稿日期: 2006-06-28)