

文章编号: 1672-2892(2010)04-0471-06

驾驶机器人数据采集系统的设计

陆文杰^{1,2}, 张为公¹, 龚宗洋^{1,2}, 刘彩丽¹

(1.东南大学 仪器科学与工程学院, 江苏 南京 210096; 2.苏州博泰测控技术有限公司, 江苏 苏州 215123)

摘要: 针对汽车排放耐久性试验用驾驶机器人信号采集的要求, 以提高数据采集的可靠性和实时性为主要目的, 设计了一种用于自动驾驶机器人的多路传感器数据采集系统, 硬件部分主要由传感器、调理电路和数据采集卡 ACL8112 组成, 软件部分主要包括数据采集卡驱动和功能函数, 实现对汽车主要工况数据的实时采集。试验结果表明, 该数据采集系统在 20 ms 的采样周期下工作正常可靠, 较好地满足了驾驶机器人对数据采集的要求。

关键词: 数据采集; Linux 系统; 驱动设计; 驾驶机器人

中图分类号: TN911.72; U467

文献标识码: A

Design of data-acquisition system for robot driver

LU Wen-jie^{1,2}, ZHANG Wei-gong¹, GONG Zong-yang^{1,2}, LIU Cai-li¹

(1.School of Instrument Science and Engineering, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China;
2.Suzhou Brontek Measure and Control Co., Ltd, Suzhou Jiangsu 215123, China)

Abstract: To meet the requirements of the robot driver for automobile emission durability test, a multi-sensor data-acquisition system was designed. The reliability and real-time performance of data acquisition were improved. The hardware system consisted of sensors, conditioning circuits and a data-acquisition card ACL8112, while the software system consisted of the card driver on Linux and performance functions. The main floor data were sampled during robot driver's working. It is shown that the system works reliably in the sampling period of 20 ms.

Key words: data-acquisition; Linux; driver design; robot driver

汽车试验用驾驶机器人是一种无需对现有汽车进行改装, 可无损安装在驾驶室内, 在汽车试验中代替人类驾驶员进行操作的工业机器人^[1]。驾驶机器人的数据采集系统属于驾驶机器人的执行级机构, 与驾驶决策模型紧密相连, 为驾驶机器人的多传感信息融合技术提供了必要的保证, 它的主要功能是通过采集各路传感器信号从试验环境中获取汽车的档位、踏板位置、车速以及发动机转速, 采集信号经过信号调理电路, 由数据采集卡进行处理。数据采集卡采用 ADLINK 的 ISA 总线板卡 ACL8112, 相比于 PCI 总线, Linux 系统下 ISA 总线的驱动开发更为方便简洁, 可以大大节省软件开发时间。由于 Windows 操作系统中 IO 口任务的优先级远低于 CPU 任务的优先级, 因此基于 Windows 操作系统平台的数据采集系统往往无法保证数据采集卡的实时访问, 基于以上原因, 本系统考虑采用实时 Linux 操作系统。与 Windows 操作系统相比, Linux 操作系统主要有以下优点: 稳定性好, 功能可裁剪, 编程效率高, 而且系统源码公开, 保证软件版权的合法性, 避免不必要的纠纷。在 Linux 系统中加入实时内核, 可以将外部 IO 任务的优先级提前到内核任务之前, 大大提高系统的实时性。

1 硬件设计

驾驶机器人采集系统主要利用多路传感器来采集变速箱档位、油门踏板位置、制动器踏板位置、离合器踏板位置、汽车车速和发动机转速等信号, 各路信号经调理电路放大整形后, 通过 ISA 总线数据采集卡转换送入控制系统。硬件模块的总体结构见图 1。

1.1 前端传感器

位移传感器选择拉杆电阻式位移传感器,阻值可线性表征位移,线性度为0.05%,重复精密度为 ± 0.01 mm,用于实时检测换挡杆、离合踏板、制动踏板和油门踏板的位置。对于离合、制动和油门机械腿,相应的位移传感器安装在执行机构上,通过测量执行机构末端的绝对距离来表征各踏板的位置;对于换挡机械手而言,在其 x 轴与 y 轴传动螺纹轴旁都安装角位移传感器,分别采集选档位与挂档位的位置信息。车速信号既可以通过底盘测功机的相应信号端直接引出,又可以通过采集车轮转速信号获得。

发动机转速信号由安装在发动机曲轴上的主动式开关光电传感器采集。考虑传感器的安装空间小,测量精密度要求高等因素,采用高精密度的微型光电传感器,输出波形为TTL方波。传感器安装在发动机固定架上,同时在发动机曲轴贴上反射材料,曲轴每转动1圈,传感器的感应头就能感应到反射的光信号,并以脉冲的形式输出。为了提高信号的电磁兼容特性,各路传感器采集到的信号都通过双绞线传输到主控箱。

1.2 信号调理电路

由于各分立传感器采集的信号不同,相应的调理电路也各有不同。位移传感器的信号调理电路为惠斯登电桥-多运放电路,见图2。其中,电压基准驱动通过运算放大器为电桥提供稳定的5V激励源。该电路

的电压增益由多运放电路实现。通过选取合适阻值的电阻,该调理电路将变阻传感器的输出电压放大为0V~10V。同时,多运放电路中的放大器都仅测量差分电压,很好地抑制了现场环境中的共模噪声^[2]。

速度信号直接由底盘测功机的控制系统提供,信号调理已在底盘测功机中完成,因此速度信号调理电路选用单路信号隔离器对模拟信号进行隔离。测功机输出的信号为0V~10V,线性表征0km/h~200km/h的车速,符合ACL8112的输入要求,无需放大。

光电传感器的输出脉冲为TTL电平,采集现场在汽车电气设备附近,干扰较大,因此脉冲信号调理电路主要实现信号的放大和滤波。信号调理电路见图3,主要由放大电路、输入脉冲量缓冲、光耦及去抖电路、整形缓冲驱动电路这4部分组成。光电传感器的输出脉冲经过共射极放大电路放大至2V~2.5V以上。去抖电路由4N25光电隔离器和电阻组成,可以消除光电耦合器内部噪声电压带来的干扰^[3],而整形电路采用施密特总线驱动器结构。

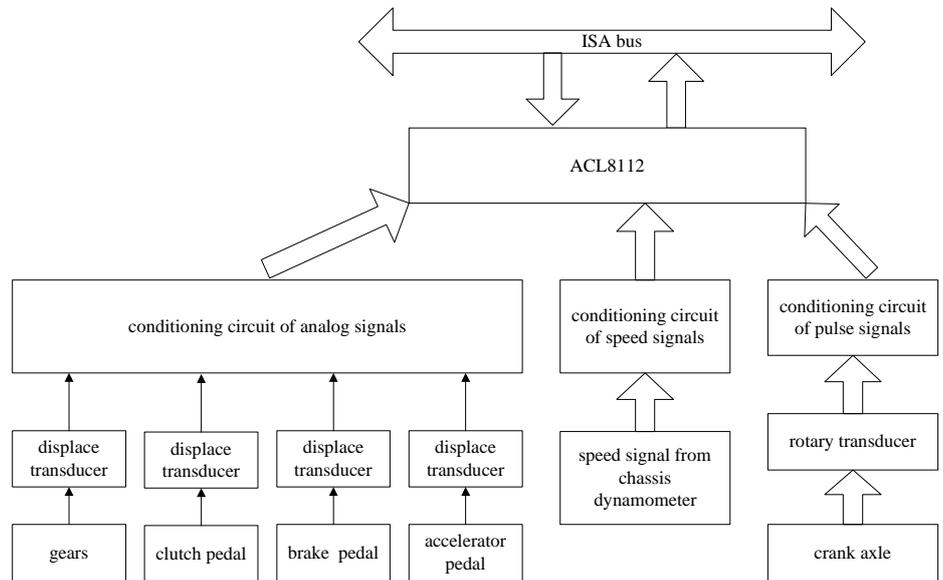


Fig.1 General structure of data-acquisition module
图1 采集模块总体结构

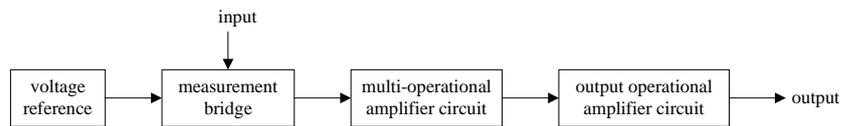


Fig.2 Conditioning circuit of analog signals
图2 模拟信号调理电路

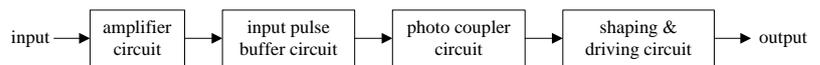


Fig.3 Conditioning circuit of pulse signals
图3 脉冲信号调理电路

1.3 数据采集卡

由于数据采集系统需要处理多路采集信号, 实现 A/D 转换和频率测量等功能, 同时考虑到 ISA 总线设备在 Linux 操作系统下驱动编写的简洁性, 因此选取 ACL8112 数据采集卡为数据采集系统的核心部分。ACL8112 是基于工业 ISA 总线的多功能数据采集板卡, 可完成多通道异步高速数据采集以及 12 位 A/D 转换等功能。它具有 16 路单端输入, 2 路 12 位双缓存模拟输出, 16 路数字输出以及 1 个定时计数通道, 可以实现多路数据采集, 满足系统采集和控制要求。数据采集卡内置多路开关, 自由选择采集多路传感器信号。数据采集卡总共接收 7 路不同的信号, 包括 5 路位移信号, 分别是油门、制动、离合机械腿以及换挡机械手的选档轴和挂档轴, 1 路汽车速度信号和 1 路发动机转速信号, 各路信号由数据采集卡内置的多路开关自由选择。数据采集卡需要对各路位移信号和车速信号进行 A/D 转换, 将结果信号送入 ISA 总线。采集卡内置的 8254 定时计数芯片包含 3 个独立可编程的 16 位定时计数器, 为转速脉冲信号进行测频。

2 软件设计

2.1 驱动设计

驱动设计结合了 Linux 设备寄存器节点化的思路, 通过模块加载的方式, 实现向用户层提供直接对 ACL8112 各寄存器进行操作的接口函数。对数据采集卡 ACL8112 进行数据采集的过程中, A/D 转换和信号测频等具体操作完全通过读写板卡内的 16 个 8 位控制寄存器来完成, 因此需要向用户层提供各寄存器的读写函数。由于总线与 8 位寄存器的数据传输以单个字符的形式进行, 因此将数据采集卡看作面向字符的 Linux 设备。对一般的字符型设备而言, 驱动主要完成如下任务: 分配各节点的结构体变量, 注册设备号, 申请内存存储空间, 实现接口函数, 以及关联模块函数。

2.1.1 设备初始化

设备初始化主要完成分配各节点设备结构体变量, 对各个结构体变量进行设计, 实现设备号的注册和内存空间的申请。

file_operations 结构体是一个设备操作函数的函数集, 它包含了实现设备基本操作的多个服务函数^[4], 其中主要的服务函数定义如下:

```
struct file_operations {
...
ssize_t (*read) (struct file *, char *, size_t, loff_t *);           //响应应用程序中 read 调用的函数指针
ssize_t (*write) (struct file *, const char *, size_t, loff_t *);   //响应应用程序中 write 调用的函数指针
int (*open) (struct inode *, struct file *);                       //响应应用程序中 open 调用的函数指针
int (*release) (struct inode *, struct file *);                    //响应应用程序中 close 调用的函数指针
...
};
```

驱动采用设备寄存器节点化的思路来分配结构体变量, 即把同一板卡上的多个寄存器看成是共享同一驱动程序的多个独立的设备, 具体体现为同一主设备号下若干个不同的次设备号。因此每个寄存器节点都被指定为 1 个独立的 file_operations 结构体变量 register_x。对第 x 个寄存器节点的 file_operations, 结构体变量定义如下:

```
static struct file_operations register_x =
{
read:register_x_read,        //将 read()函数的函数指针指向 register_x_read()函数, 下同
write:register_x_write,
open:register_x_open,
release:register_x_release
...
};
```

register_x_open()函数通常需要调用 kmalloc()函数来申请内存空间, 用于保存当前打开节点的次设备号。register_x_release()与 register_x_open()函数相对应, 用于在关闭设备文件时调用 kfree()函数来释放申请的内存空间。寄存器的读写操作由 register_x_read()和 register_x_write()分别调用内核函数 outb_p()和 inb_p()来完成。

2.1.2 实现接口函数

要求驱动向用户层提供板卡上各寄存器的读函数和写函数, 通过对结构体变量 register_x 中的各服务函数进行函数调用完成。以写函数为例, 定义如下:

```

int write_register_x(byte data)
{
open("/dev/aclx");    //访问第 x 个寄存器
...
register_x_write(buf); //将 buf 写入寄存器
...
release("/dev/aclx"); //关闭第 x 个寄存器
}

```

当应用层程序调用寄存器读写函数时,内核访问该寄存器对应的节点设备,为其申请内核空间,并进行具体操作,结束访问时释放内核空间,完成函数调用。

2.1.3 驱动模块加载

Linux 系统下用户对硬件的操作必须要调用内核函数,但又不能在应用层直接调用内核函数,因此要求驱动程序加载到内核,加载的方法有 2 种:内核模块加载和开机加载。内核模块加载是指将一些在需要时才载入和执行的代码,通过 gcc 编译器对程序进行预处理和编译,将生成的目标文件用 insmod 命令加载到内核^[5]。相比于开机直接编译到内核的方式,加载为内核模块的方法不仅可以减少内核的“尺寸”,而且也能随意加载与卸载,体现系统的可裁剪性。

init_module()和 cleanup_module()这 2 个函数用于实现设备驱动程序的模块化,在装载和卸载设备时内核自动调用这 2 个函数。模块和内核之间调用连接的过程见图 4。

init_module()函数调用内核函数 register_chrdev()和 request_region()为寄存器节点设备动态申请设备号和 I/O 端口资源,内核将申请到的主设备号以及端口资源列表通过数据指针返回到模块,此时结构体变量中的服务函数即可合法地调用内核函数。完成对设备文件的功能操作后,模块会自动调用 cleanup_module()中 release_region()函数来释放申请到的内核资源。

2.2 数据采集软件设计

2.2.1 模拟量

在 ACL8112 中实现 A/D 的功能主要是通过对板卡内各寄存器的读写来完成的,即调用驱动程序中提供的接口函数 read_register_x()和 write_register_x(),具体的步骤为:对板卡进行初始化;选取 A/D 的输入通道并适当延时,提供硬件的响应时间;设置输入方式为单端输入,输入范围为 0 V~10 V,并适当延时;最后完成 A/D 转换。

数据处理方面,采用了改进的平均数处理方法^[6]。主要的步骤是选取最近 N 次的采样值,以相互差值最小的 $N-2$ 个值为 1 组,结合每个采样值被采用的次数以及采样的先后时间,为各采样值分配 1 个加权系数,对每个采样值加权后再求平均数。

2.2.2 数字量

频率的测量方法主要有测频法和测周法,通常发动机转速小于 7 000 rad/min,因此采用测周法来测量脉冲信号。即将板卡自带的标准信号 f_s 作为计数器的脉冲输入,将被测信号 f_x 作为计数器的门信号,被测信号经过 1 个周期,读得计数器的值为 N ^[7],故:

$$f_x = f_s / N$$

相对误差 $e_r(f_x)$ 为:

$$|e_r(f_x)| = \left| e_r\left(\frac{f_s}{N}\right) \right| \approx |e_r(f_s) - e_r(N)| = |e_r(N)| = \frac{1}{N}$$

数据采集卡自带的标准信号为 2 MHz,且默认连接计数器 0 的时钟输入端。因此选取计数器 0 行计数,外部脉冲信号接计数器 0 的 GATE 脚,计数器工作方式方式为 0。采样数据经过改进的格拉布斯准则处理^[8],该算法具体思想为:将采样值与预测值作比较,当差超过一致性校验门限时,即认为该采样值为异常数据,予以剔除,并用预测值作为相应点的试验数据。一致性校验门限的具体取值由实际试验结果决定。

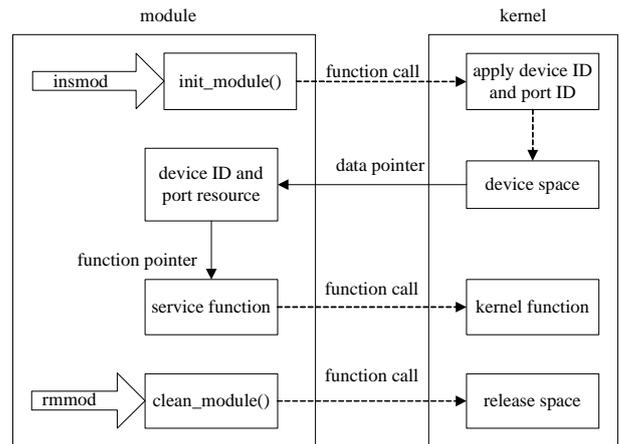


Fig.4 Calling relationship between module and kernel

图4 模块和内核的调用关系

3 试验结果

本试验按照 GB18352.2-2001《轻型汽车排放污染物排放限值及测量方法(II)》中针对汽车排放耐久性提出的要求和相应的规范进行试验, 试验界面及实验数据见图5。

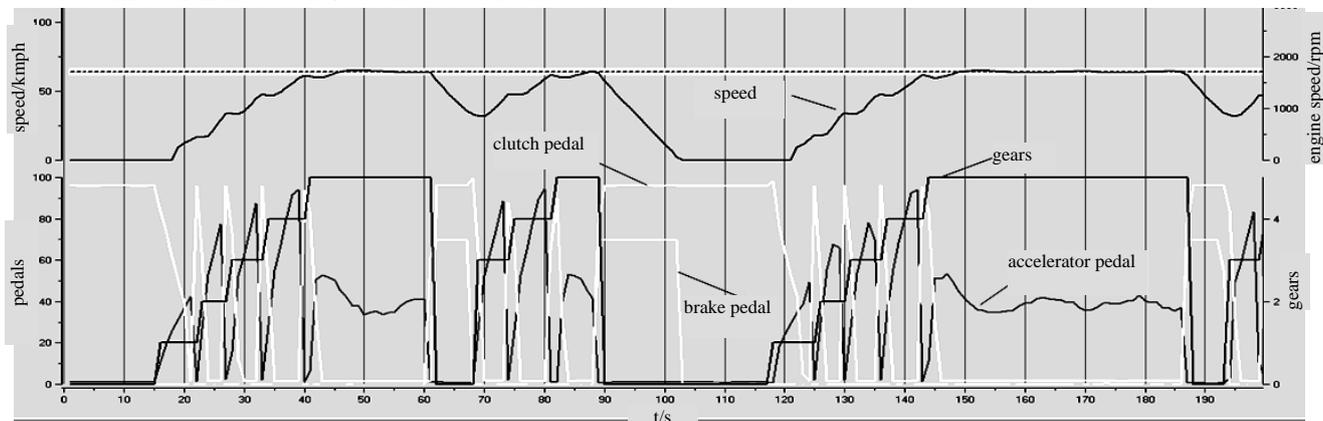


Fig.5 Sampling curve of the field environment

图5 现场环境下的采样曲线

由试验曲线可得到: 该系统可以实时地采集多路信号, 信号的采集频率高, 多路信号间采集的协调性好。曲线完整地显示出档位、踏板位、车速以及发动机转速, 很好地完成了汽车工况的数据采集工作。

4 结论

本数据采集系统结合了Linux模块化编程的技术和ISA总线接口技术, 利用高精密度的工业传感器采集数据, 通过数据采集卡 ACL8112 处理数据, 实现了驾驶机器人系统的数据采集功能。该数据采集系统采用 redhat9.0 kernel2.4.20-rt13.2 的实时操作系统。该系统已经在东南大学研制的 DNC2-II 驾驶机器人中得到应用。实验表明, 该数据采集系统性能稳定, 运行可靠, 数据采集的精确性和实时性都达到机器人运动控制的要求。

参考文献:

- [1] 何莉, 龚宗洋, 张为公, 等. 基于CPCI总线的运动控制卡及其VxWorks下的驱动设计[J]. 测控技术, 2008, 27(8): 50-52. (HE Li, GONG Zongyang, ZHANG Weigong, et al. Design of Motion Control Card Based on CPCI Bus and Its Driver in VxWorks[J]. Measurement & Control Technology, 2008, 27(8): 50-52.)
- [2] 张俊, 万里冰. 滚动轴承振动数据采集系统开发[J]. 测控技术, 2009, 28(9): 20-22. (ZHANG Jun, WAN Li bing. Development of Data Acquisition System for Rolling Bearing Vibration[J]. Measurement & Control Technology, 2009, 28(9): 20-22.)
- [3] 刘鹏, 黄健. 基于LabVIEW和ARM嵌入式数据采集与远程传输控制系统[J]. 信息与电子工程, 2009, 7(5): 459-463. (LIU Peng, HUANG Jian. Design of embedded data acquisition and remote transmission/control system based on LabVIEW and ARM [J]. Information and Electronic Engineering, 2009, 7(5): 459-463.)
- [4] 董昱, 林海香. 基于RTLinux的计算机联锁软件可靠性和实时性研究[J]. 测控技术, 2008, 27(1): 72-74. (DONG Yu, LIN Haixiang. Study on Real-Time and High-Reliability of the Interlocking Software Based on RTLinux[J]. Measurement & Control Technology, 2008, 27(1): 72-74.)
- [5] 邹荣士, 郭立红, 司玉美, 等. 多通道串行通信设备的Linux驱动程序实现[J]. 吉林大学学报: 工学版, 2007, 37(1): 164-167. (Zou Rongshi, Guo Lihong, Si Yumei, et al. Implementation of drivers for multi channel data communication devices in Linux operating system[J]. Journal of Jilin University: Engineering and Technology Edition, 2007, 37(1): 164-167.)
- [6] 王愈, 张为公. 基于DSP的汽车道路试验数据采集系统设计[J]. 测控技术, 2009, 28(8): 33-36. (WANG Yu, ZHANG Weigong. Design of DAQ System for Vehicle Roadway Test Based on DSP Technology[J]. Measurement & Control Technology, 2009, 28(8): 33-36.)
- [7] 王浩, 王子斌. 一种2Gbps数字示波器数据采集系统的设计[J]. 信息与电子工程, 2009, 7(4): 257-260. (WANG Hao, WANG Zhibin. Design of a 2Gbps digital oscilloscope data acquisition system[J]. Information and Electronic Engineering, 2009, 7(4): 257-260.)
- [8] 金卫, 陈长龄, 林竟力. 带通采样在数据采集中的应用研究[J]. 信息与电子工程, 2004, 2(1): 73-75. (JIN Wei, CHEN Changlin, LIN Jingli. Investigation on the Application of Bandpass Sampling in Data Acquisition[J]. Information and Electronic Engineering, 2004, 2(1): 73-75.)

(下转第484页)