

某六自由度平台驱动信号洗出算法的 DSP 实现

Implementation of 6-DOF Platform Drive Signal Washout Lgorithm Using DSP

郭锋 谢毅 姜赞 温国强 (武汉军械士官学校二系 湖北武汉 430075)
(96167 部队 福建永安 366000)

摘要: 应用 TMS320F2812 实现了特种车模拟驾驶系统六自由度平台的驱动信号洗出算法。分析了六自由度运动平台的洗出过程,设计了洗出算法流程和软件,并采用 32 位定点数运算和迭代 IIR 滤波算法,高效率的完成了质心变换、坐标变换、驱动信号洗出与超前补偿等计算,保证了算法解算的实时性。结果表明,该算法能应用于大型特种车辆驾驶模拟系统中。

关键词: DSP TMS320F2812 特种车 模拟驾驶 洗出算法

六自由度运动平台,可以模拟出各种空间运动姿态,广泛应用到各种训练模拟器,如飞行模拟器、汽车驾驶模拟器、火车驾驶模拟器、地震模拟器以及动感电影、娱乐设备等广阔领域^[1]。对于特种车驾驶训练模拟来说,给驾驶员提供车辆真实驾驶的动感至关重要。平台由于位移行程有限,不能仿真持续过载。洗出算法经过一系列变换、滤波、补偿成为能反应车辆动感与瞬时过载的驱动信号。这种驱动信号使运动平台在完成一次突发运动之后能以低于人的比力感觉门限的缓慢返回中立位置,以便在有效的行程内能执行下一次突发运动指令。

1 六自由度运动平台洗出过程

六自由度平台的模拟车辆驾驶的原理如图 1 所示。驱动信号的洗出过程为:洗出算法根据车辆动力学模型提供车辆的真实行驶参数(3 个轴向线加速度、3 个角速度、角加速度和姿态角)计算出驾驶模拟动感座椅运动系统的运动参数,通过运动学反解,控制运动系统每个丝杠或液压缸的伸长量,实现平台运动。另外,在运动模拟过程中,由于丝杠或液压缸的行程有限,因此在完成一次突发运动后,必须使运动平台以低于人体感觉门限的加速度缓慢回至中立位置,以便使连续的运动模拟有足够的行程^[2]。

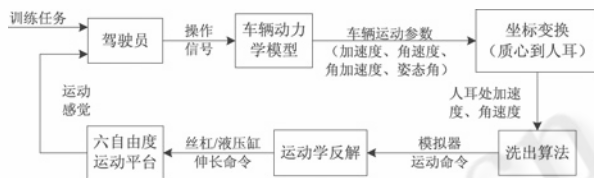


图 1 车辆模拟器动感模拟原理

2 洗出算法的 DSP 实现

2.1 TMS320C2812 DSP

DSP 是对信号和图像实现实时处理的一类高性能的 CPU。TMS320C2000 系列是美国 TI 公司推出的最佳测控应用的定点 DSP 芯片,其主流产品分为四个系列:C20x、C24x、C27x 和 C28x。TMS320C28x 系列是先进的 32 位定点 DSP 芯片,运行速度高,处理功能强大,片内外围设备丰富,便于接口和模块化设计,性价比极高。特别适用于有大量数据处理、测控场合。C28x 系列的主要片种为 TMS320F2810 和 TMS320F2812。本文采用 TMS320F2812 芯片完成洗出解算。

TMS320F2812 具有如下性能特点^[3]:

(1) CPU 高速主频。TMS320F2812 使能片上 PLL 电路,最高可工作在 150MHz 主频下。

(2)先进的哈佛总线结构。TMS320F2812 的是一种低功耗的 32 位定点数字信号处理器,它集中了数字信号处理的诸多优秀特性,具有精简指令集计算(RISC)功能、微型控制器结构、固件及工具装置等。

(3)指令流水线结构。TMS320F2812 采用了八级流水线的操作,增加了程序的执行效率。CPU 在 8 个独立的步骤下完成取指、译码、读、执行和写等操作。

(4)独特的引导 ROM 数学表和高效率库函数。在器件 TMS320F2812 中 4K×16 的片内 ROM 由厂家嵌入了引导装载程序和数学表。此外,TI 公司提供免费的开放源代码的库函数,包括数学、数字滤波和快速傅立叶变换等函数库^{[4][5]}。这些函数都是经过优化的程序代码,占用资源少,执行效率高。

2.2 硬件设计

硬件设计原理框图如图 2 所示。

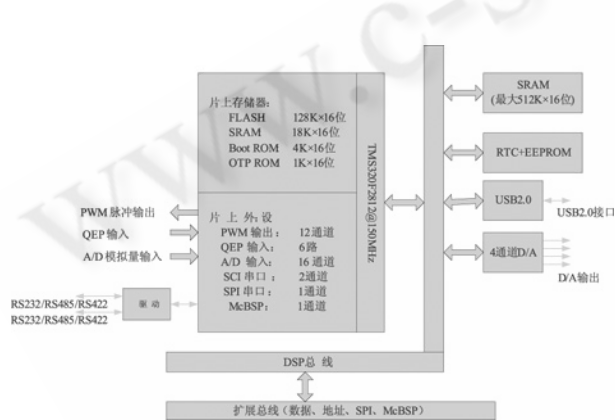


图 2 硬件设计原理图

- TMS320F2812 CPU 主频 150MHz ;
- 片内 128K × 16 位可加密 Flash ,18K × 16 位 SRAM ;
- 片外 SRAM :64K × 16 位(最大可至 512K × 16 位) ;
- 看门狗电路、电源监视、上电复位、手动复位 ;
- 2 路编程可选的 RS232/RS422/RS485。

在 PCB 板的设计上,采用四层板结构,将电源和地分别设一层。数字地、模拟地分开,单点连接,同层上的多个电源、地用隔离带分割。在 PCB 四周均匀分布一些 4.7μF—10μF 大电容,在每个电源引脚加 0.01μF—0.1μF 瓷片电容去耦,在靠近时钟源的地方串接 10Ω—50Ω 端接电阻,以提高时钟波形的质量。

TMS320F2812 上有 5 类典型电源引脚:CPU 核电源引脚、I/O 电源引脚、PLL 电路电源引脚、Flash 编程电源引脚和模拟电路电源引脚,所有电源引脚都要连到各自的供电电源上。TMS320F2812 的上电顺序为 I/O 先上电,CPU 核后上电或者同时上电。CPU 内核电源与 I/O 电源之间有一肖特基二极管以保护 DSP 器件。

3 洗出算法的软件设计

3.1 运动平台驱动信号洗出算法流程

运动平台的驱动信号流程图如图 3。从上位机接收车辆的运动参数,经过质心变换、坐标变换、信号洗出、超前补偿,得到驱动平台的三个位移和三个角度,然后将数据发送到动感平台的控制计算机,用于控制六自由度运动平台六根作动筒运动。

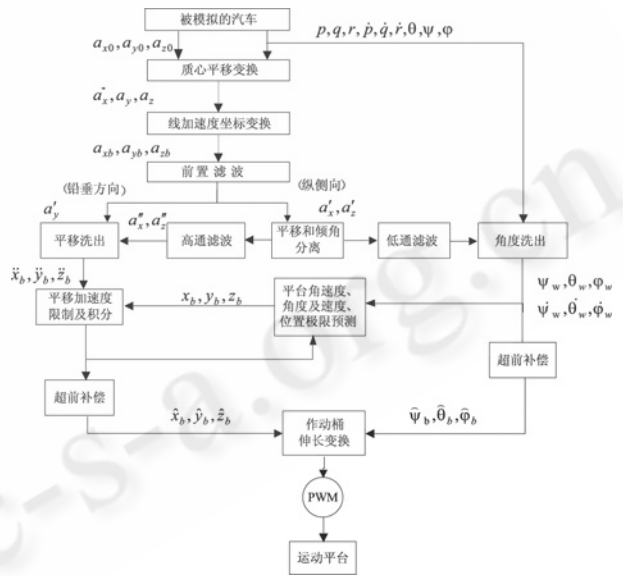


图 3 运动平台驱动信号流程图

3.2 软件设计

芯片上电后,系统开始初始化,初始化完毕后进入等待状态,当接收到完整的一帧数据时,关闭接收中断,进入接收数据格式转换状态,在接收数据格式转换状态中,接收的数据按照约定的格式转化成计算所需的定点数格式,并赋值给各个变量;主程序调用定点数运算函数和滤波函数按照建立模型的公式进行计算,计算完成后进入发送数据格式转换状态,对计算结果进行格式化,以便于发送,最后将格式化的数据发

送到上位机,发送完毕后开接收中断,进入等待状态,等待下一帧数据的到来^[6]。流程如图4所示。

(1)接收数据。

接收数据就是将上位机计算出的车辆运动及过载的参数按照一定的格式接收到 DSP 的缓冲区。与上位机的通讯采用异步串口通信 A 口(SCI_A),RS485 模式,中断方式接收,接收数据的波特率设定为 115200,1 位停止位,奇校验。

为便于接收数据和保证数据的精度要求,上位机发送的数据先转化为 10 位定点数格式,每个数据占 2 字节,这样接收数据的范围为 -32 到 31.999023437,最小精度为 0.000976563。长度单位采用毫米,时间单位采用秒,角度单位采用弧度,根据设计的指标,所有发送的数据都在这个范围之内。

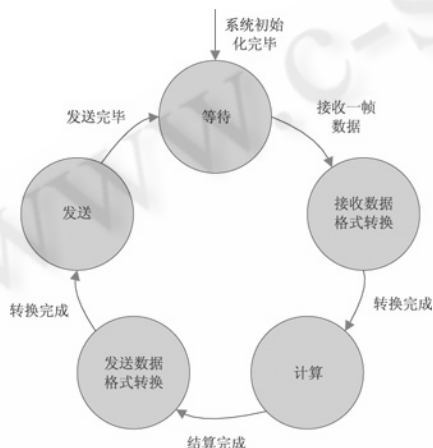


图 4 软件状态流程图

上位机发送数据,每秒 20 帧数据,每帧数据 20 字节。帧以 0xAA0x55 开始,数据先发送的高字节,再发送低字节。接收时,先判断连续接收的两个数据是不是 0xAA 0x55,如果是,则在有限的时间内从串口中读取接下来的 18 个数据,存储在一个字符型数组中;如果这两个条件有一个不满足,或接收超时(0.01s),则放弃此帧,重新判断下一帧。帧格式如表 1 所示。

表 1 接收数据帧格式

0xAA	0x55	a _{x0} 高	a _{y0} 低	a _{y0} 高	a _{x0} 低	a _{z0} 高	a _{z0} 低
P 高	P 低	q 高	q 低	r 高	r 低	P 高	P 低
q 高	q 低	r 高	r 低				

接收完一帧数据后关闭接收中断,直到数据处理完并发送出去后才开接收中断。由于上位机发送的频率为 20Hz,而中间过程的计算的时间远远小于 50ms,因而这样做不会丢失任何一帧数据。

(2)接收数据格式转换。

接收后的数据存储在一个字符型数组中,为了保证计算过程中计算中间值不溢出,满足计算精度,计算的过程中使用的长整型(4 字节)21 位浮点数(最小值 -1024,最大值 1023.999999523,精度 0.000000447)存储,因而有必要进行数据类型和定点格式之间转换,并赋值给各个变量。

(3)定点数运算函数。

定点数运算算法通过汇编语言宏调用的方式直接实现。定点数之间的加减法运算和逻辑运算比较简单,大多数都是单周期指令,DSP 汇编指令集也包含这些指令。DSP 器件中具有一个专用的硬件乘法器,能在一个时钟周期中完成 32 位二进制数据的乘法计算。而除法运算、开方运算和三角函数运算就复杂得多了,像除法运算算法主要包含了一系列的反复移位和有条件减法运算,三角函数运算使用了查表法。TI 公司提供与 DSP 器件配套的算法实现,效率极高,可以直接调用,实现高效的算法。

(4)数字滤波器设计。

洗出算法用 IIR 高通滤波器和低通滤波器将车辆的纵向平移加速度分解成高频与低频信号两部分,角加速度也需要进行高通滤波。滤波器设计参数通过 MATLAB 仿真得出。

车辆纵向加速度的 IIR 低通滤波参数:

```

#define IIR32_COEFF { \
    - 29738748, 960418045, 392665, 785330, \
    392665, \
    - 444647800, 975231597, 1563929, 3127858, \
    1563929, \
    - 73441668, 1003841026, 1064075, 2128150, \
    1064075, \
    - 13709771,1043851193,878740185,1757480369, \
    878740185 }

#define IIR32_ISF6191613
#define IIR32_NBIQ4
#define IIR32_QFMAT29
    
```

车辆纵向加速度的 IIR 高通滤波参数：

```
#define IIR32_COEFF {\
    - 22580335 ,55008329 ,63064034 , - 126128067 ,
63064034 ,\
    - 24013516 ,56412751 ,27966612 , - 55933223 ,
27966612 ,\
    - 26863761 ,59205801 ,12605167 , - 25210334 ,
12605167 ,\
    - 31042485 , 63300672 , 1014441648 , -
2028883296 ,1014441648 }
#define IIR32_ISF1126438
#define IIR32_NBIQ4
#define IIR32_QFMAT25
```

在使用高通、低通滤波器前必须初始化滤波器,这个步骤一般在程序初始化的时候进行,之后才能使用。

(5) 发送数据格式转换。

计算完的结果包括三个轴向位移()和三个角度()数据都是以长整型 21 位定点数格式存放的。发送的数据格式要求为 16 位定点数格式(最小值 -32768,最大值 32767.999984741,最小精度 0.000015259),因此必须将其数据进行转换。

转换完的数据按照高字节在前低字节在后的顺序存储在一个字符型数组中,等待发送。

(6) 发送数据。

计算完的数据通过异步串口通信 B 口发送出去,RS485 模式,中断方式发送,发送数据的波特率设定为 115200,1 位停止位,奇校验。

发送数据每帧以 0xAA0x55 开始。帧格式如表 2 所示：

表 2 发送数据帧格式

0xAA	0x55	x_b 高	x_b	x_b	x_b 低	y_b 高	y_b
y_b	y_b 低	z_b 高	z_b	z_b	z_b 低	θ_b 高	θ_b
θ_b	θ_b 低	φ_b 高	φ_b	φ_b	φ_b 低	ψ_b 高	ψ_b
ψ_b	ψ_b 低						

其中 0xAA0x55 两字节以查询方式发送,发送完 0x55 后采用中断方式发送,直到最后一个字节发送完毕。

(7) 调试。

洗出算法涉及的公式很多,还有涉及一些需要调

整的参数,因而调试显得非常重要。调试分模拟调试和联机调试两阶段进行。

模拟调试阶段的主要工作是检查程序的语法错误,完成串口通信、看门狗等功能的调试,检查公式中是否有笔误等现象。这部分工作在实验室即可完成。通过 CCS 集成开发环境的文件 I/O 功能^[7],可以将 MATLAB 仿真的一组数据以数据流的形式直接赋值给程序中的变量,以便检查中间结果^[8]。图 5 为利用文件 I/O 调试 IIR 滤波器效果的截图。

联机调试主要在工作间完成,是将特种车模拟驾驶系统各个部分连接在一起工作,检查整体协调工作情况,然后对各个部分进行检查修正,使之满足设计要求。

4 结束语

采用 DSP 实现了六自由度运动平台高效的驱动信号洗出算法,对软硬件进行了详细的设计,并应用于大型特种车辆驾驶模拟系统中,获得良好的效果。DSP 实现洗出算法,具有高效、高可靠性、低成本、易安装等优点,可实现 1000 次/秒解算运算速度,从而采用较高的迭代速率如采用 120Hz 进行迭代输出,使各个作动筒运动平滑,能较真实的仿真高频特殊效应。

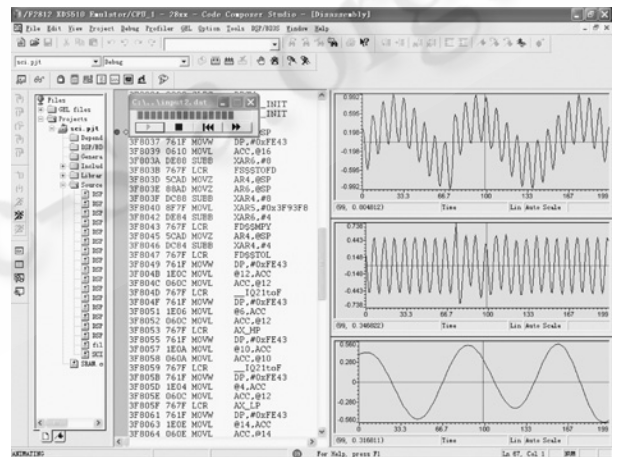


图 5 CCS 调试 IIR 滤波器效果截图

参考文献

1 王行仁主编. 飞行实时仿真系统及技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.

(下转第 91 页)

(上接第 100 页)

2 金宏健. 动感平台的计算机控制研究. 黑龙江 : 哈尔滨工业大学 2002.

3 Texas Instruments Inc. TMS320F2810 , TMS320F2812 Digital Signal Processors Data Manual. Dallas , Texas : USA , 2003.

4 Texas Instruments Inc. IQmath Library Module user 's Guide C28x Foundation Software. Dallas , Texas : USA , 2003.

5 Texas Instruments Inc. Filter Library Module user 's Guide C28x Foundation Software. Dallas , Texas :

USA , 2002.

6 Texas Instruments Inc. TMS320F28x Serial Communications Interface (SCI) Reference Guide. Dallas , Texas : USA , 2003.

7 Texas Instruments Inc. Code Composer Studio Getting Started Guide. Dallas , Texas : USA , 2003.

8 李真芳 , 苏涛 , 黄小宇. DSP 程序开发 - MATLAB 调试及直接目标代码生成. 西安 : 西安电子科技大学出版社 2003.