

# EMC2 中 HAL 实现机理和应用研究

许 军 李 华

(河南工业大学 机电工程学院, 郑州 450007)

**摘 要:**本文在对开源数控系统 EMC2 中的 HAL 框架的概念和实现机理分析的基础上,结合 HAL 中直流伺服电机 PID 控制实例说明了 HAL 中元件复杂组合的设计和实现过程。分析了 HAL 跟 EMC2 中其他重要模块的关联,应用 HAL 进行了电子手轮和虚拟电子手轮的设计。

**关键词:**HAL 元件 引脚 信号

HAL (Hardware Abstraction Layer) 是 EMC2 (Enhanced Machine Controller, 增强型机器控制器)<sup>[1]</sup>中直接与硬件关联的底层软件框架,也是位于 EMC2 系统底层并最有特色的部分。设计 HAL 的目的是使 EMC2 可以方便的针对不同的硬件进行配置而不需要改变上层程序。之所以称为“硬件”抽象层,是因为 HAL 里的很多“元件”都是直接驱动硬件设备的(例如 I/O 口,ADC 等)。现在的 HAL 不仅包含有“硬”元件,还包含有很多“软”元件,它们都可以被加载并互相连接组装成一个复杂的系统,用于在 I/O 口和其他底层模块之间传送实时数据。HAL 甚至可以脱离 EMC2 独立运行。

## 1 HAL 实现机理分析

现实的电子电路设计中,各种元器件被安装到线路板上并连接上相应的引脚就能实现特定功能。HAL 实现原理就参照了现实中的电路设计。HAL 使用元件引脚模型来实现一个个的软元器件,这些定义了输入、输出和行为,可以被加载和互相连接的软件功能块就称为 HAL 元件。

HAL 元件首先都必须有引脚,每个引脚都被命名以便用于连接信号。引脚和信号都有自己的数据类型,同类型的才能连接。目前有四种类型,Bit (代表 True/False)、Float (64 位浮点)、U32 (32 位无符号整数)、S32 (32 位有符号整数)。每个 HAL 元件内部还有实现其特定功能的代码称为函数,这些函数必须加入到特定的实时线程中运行才能实现特定功能。有些 HAL 元件内部还有可供调整的输入输出参数,输入参数一旦在调整后就保持相对固定。输出参数不能被调整,仅用于对元件内部信号的监控。

在 HAL 中还有信号和线程的概念。信号等同于现实中的连接线,用于连接 HAL 元件的引脚。线程是特别指定了时间间隔,由系统实时调度和运行的特殊代码段,元件中需要以特定时间运行的函数被加入到特定线程中去。每次线程被调度运行时,其中的元件函数也会被执行。例如:EMC2 默认的配置文件中都会有 BASE\_PERIOD 和 SERVO\_PERIOD 这两个线程,BASE\_PERIOD 每隔 50μs 运行一次,SERVO\_PERIOD 每隔 1ms 运行一次。负责生成步进脉冲的 stepgen 元件中的函数就必须放到 BASE\_PERIOD

中运行才能产生合格的脉冲,而负责外部行程开关信号读取的函数就可能放在 SERVO\_PERIOD 中。

HAL 元件完全可以被看作是黑盒子,设计者知道了每个 HAL 元件的输入输出就可以根据需求决定使用哪个元件并连接什么信号。信号其实就是从从一个引脚传递到另一个引脚并不断更新的特定数据。信号被创建后会分配空间用于存放数据。而引脚其实就是一个指针而并不包含数据。当信号连接上引脚,引脚的指针就指向该信号的数据。HAL 正是通过元件灵活的相互连接实现了适应外部不同硬件变化的要求。

## 2 HAL 元件和组合

HAL 中的元件可以分为用户空间元件和实时空间元件,分别使用 loadusr 和 loadrt 命令进行加载。用户空间元件有自己独立的进程只能通过引脚和参数与其他元件联系。实时元件被加载时系统自动调用 RTAPI (Real-Time Application Programming Interface) 将其放在实时态运行。

所有 HAL 元件都是通过它们的名字来访问和操作的。HAL 名字有着特殊的要求并最多 41 个字符(在 hal.h 中由 HAL\_NAME\_LEN 定义),当引脚、信号和参数被使用时,必须从它的名字看出关于它的简短描述,例如 parport.0.pin-10-in 指第一个并口的 10 号输入引脚,pid.1.output 指第二个 pid 循环的输出端。

应用 HAL 元件可以搭建一个通过并口输出 PWM 信号驱动 X-Y 轴的直流伺服电机的实用“电路”。首先通过命令加载需要的实时元件,这里有运动轴元件 axis、并口元件 parport、解码器 encoder、PID 控制器元件 pid、PWMPDM 生成器元件 pwmgen,还需要生成 20 微秒的 base\_period 和 1000 微秒的 servo\_period 这两个实时线程。

图 1 是实现后的原理图,虽然 EMC2 没有提供图形化编程手段(已经在计划中),但我们很容易用命令实现如下线路。以 X 轴为例,axis.0 接受到 EMC2 发出的运动位置指令后将位置值信号传给 pid.0 的 command 端,pid.0 通过比较 feedback 的值生成 output 值并立刻发送到 pwmgen.0,生成的方向信号和 PWM 信号分别由并口 2、3 号引脚输出。并口 10、11 分别接受到来自编码器的 A/B 相信号经过 encoder.0 计算得出的位置值被反馈给 axis.0。

motor-pos-fb 和 pid.0.feedback, 从而形成一个完整闭环回路。图 1 左边代表元件的函数分别在不同时间间隔的线

程中被执行。例如:并口读取函数调用放入 BASE\_PERIOD 线程, pid 计算函数放在 SERVO\_PERIOD 线程。

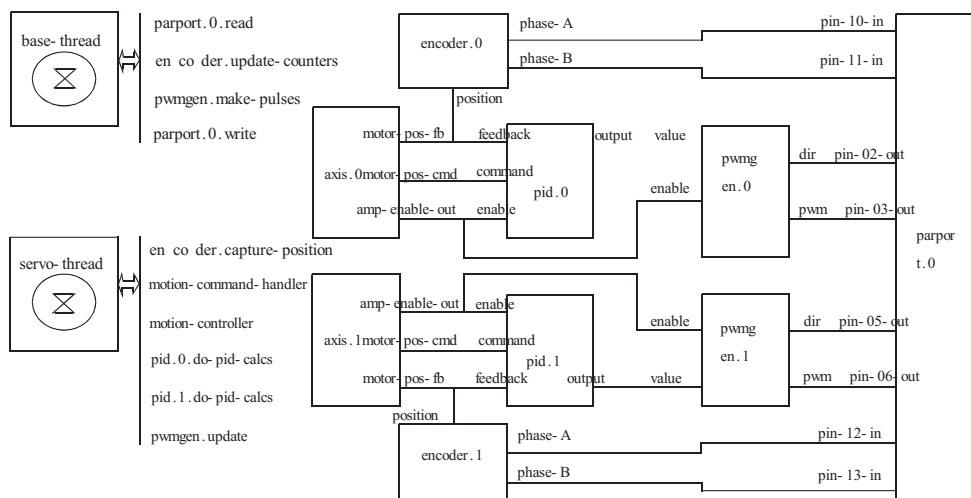


图 1 并口输出 PWM 信号驱动 X-Y 轴的直流伺服电机 HAL 连接图

### 3 HAL 在 EMC2 中的作用

EMC2 包括四大模块:GUI 模块、运动控制模块(EMCMOT)、离散 I/O 控制模块(EMCIO)和任务执行器模块(EMCTASK)。其中运动控制模块和 I/O 控制模块已经纳入 HAL 框架成为 HAL 元件的模式,由于 HAL 的灵活性使原有的 I/O 控制模块功能已经大大缩减。目前 HAL 中能通过 NML(Neutral Message Language)和 EMC2 中其它程序模块进行联系的有运动模块(motion)、I/O 控制模块(iocontrol)、软 PLC(classicladder)和 HAL 用户界面(HALUI)。系统整体框图 2 如所示。

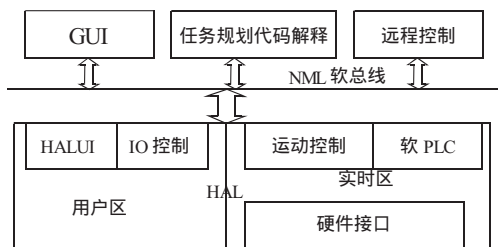


图 2 EMC2 系统结构

HAL 灵活的软件框架跨越了系统的实时区和非实时区,将系统的所有执行部件都有机的结合到一起。HAL 通过软总线接受上层的指令并将执行结果和当前状态反馈给上层,而执行部件中的 HAL 元件可以根据需要任意组合,实现不同的执行控制。

### 4 电子手轮和虚拟面板的设计

通用电子手轮输出脉冲 100PPR, 输出两路脉冲序列 A/B, A 和 B 相位相差 90°, 3 轴向选择, 3 倍率选择。首先设计出 HAL 内部原理图如图 3 所示, 这里我们需要一个解码器 encoder 元件和一个四路选择器 MUX4 元件, 并要和运动模块里的 Axis 元件进行信号连接。

实现原理简单说明如下:

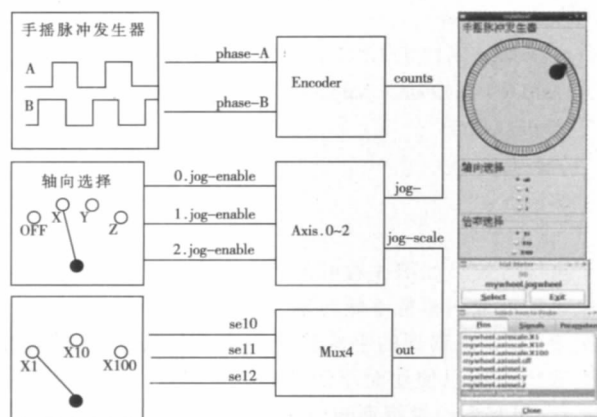


图 3 EMC2 加装电子手轮的应用和虚拟电子手轮

(1) 手摇脉冲发生器的 A、B 两相脉冲经过解码器正交解码得到计数值被送到各轴的 jog-count 端作为移动值。

(2) 轴向选择的使能信号分别接到轴 0~2(分别代表 XYZ)的 jog-enable 端。保证所选轴能执行手轮指令。

(3) 倍率选择开关接到 MUX4 的 0~2 输入端(3 未用), 假设 1 输入端被选择则预先设置在 MUX4 中 1 端对应值 10 被发送到 Axis 的 jog-scale 端。

电子手轮可以接入 PC 的并口或通用的数字量 I/O 卡的输入口。改变接入方式后只需要调入相应驱动元件并重新调整输入接口的引脚名称就可以了。由于通过软元件 encoder 来实现正交解码, encoder 的内部函数需要放入较快的线程以防止“丢步”现象。

用于教学实验时, 利用 HAL 甚至可以创建一个虚拟的电子手轮。HAL 的 pyVCP (python Virtual Control Panel)工具提供了一些用户态可视元件, 称为虚拟面板。这些虚拟面板元件也有引脚可以和其他 HAL 元件连接。按照 pyVCP 提供的 xml 语法很容易就能编写制作一个虚拟的

电子手轮。xml 文件如下：

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<pyvcp>
<vbox>
<labelframe text=" 手摇脉冲发生器 ">
<jogwheel>
<halpin>"jogwheel"</halpin>
<cpr>100</cpr>
<size>300</size>
</jogwheel>
</labelframe>
<labelframe text=" 轴向选择 ">
<radiobutton>
<choices>["off","x","y","z"]</choices>
<halpin>"axissel"</halpin>
</radiobutton>
</labelframe>
<labelframe text=" 倍率选择 ">
<radiobutton>
<choices>["X1","X10","X100"]</choices>
<halpin>"axisscale"</halpin>
</radiobutton>
</labelframe>
</vbox>
</pyvcp>
```

执行后效果如图 3 右所示,右上图是虚拟手轮效果,手轮可拖动或用鼠标滚轮转动。右中是调用 halmeter( HAL 万用表)工具观察到的手轮转动的值,由于虚拟手轮直接产生数值,所以使用时不用再连接编码器。右下是调用 halmeter 观察到的虚拟面板中的引脚,这些引脚一样可以

用来连接信号。

## 5 总结

作为开放的 PC 数控系统执行层需要使用各种外部硬件,HAL 使用的基于元件的引脚模型很好的解决了这个问题,成为 EMC2 中最为开放和灵活的部分。其开放性表现在它接收了很多原来独立存在的底层模块并囊括了 EMC2 中所有需要实时运行的部分,其灵活性表现在其众多的软元件可以和硬件一起运行,在实际应用中用户甚至能自己设计特定功能的软元件来代替相应昂贵的硬件模块。但是软件运行不可避免的一个问题就是时间调度问题。由于 CPU 的资源有限,只有合理的分配软硬件资源再加上切合实际的合理应用,才会取得良好的效果。

## 参考文献

- [1] <http://www.linuxcnc.org>.
- [2] EMC2 Integrators Manual V2.3 [EB/OL].[http://www.linuxcnc.org/docs/EMC2\\_Integrator\\_Manual.pdf](http://www.linuxcnc.org/docs/EMC2_Integrator_Manual.pdf)
- [3] EMC2 HAL Manual V2.3 [EB/OL]. [http://www.linuxcnc.org/docs/HAL\\_User\\_Manual.pdf](http://www.linuxcnc.org/docs/HAL_User_Manual.pdf)
- [4] 张凤丽,张承瑞,王金江.基于 Qt 的 EMC2 数控系统开发[J].制造技术与机床,2008,(02)

## Mechanism and Application of HAL in the EMC2

XU Jun, LI Hua

(Henan University of Technology, ZhengZhou 450007, China)

Abstract: Related concept and principle of HAL are expounded and illustrated how to design and achieve a complex system using HAL components base on example of D.C. servomotor controller. What relationship HAL keeps with another important modules in the EMC2 is introduced. At last, it made a description of adding MPG into EMC2 and Virtual Control Panel.

Key words: HAL ,component ,pin ,signal

(上接第 61 页)具有很好的应用前景,另外,通过上述分析,可得出以下结论。

(1)应用仿真分析软件 ADAMS/Chassis,建立了包括车身,汽车转向系,前后悬架总成和轮胎在内的整车虚拟样机参数化模型,可以较为真实地模拟汽车在稳态回转和方向盘转角阶跃输入条件下的转向特性,为汽车的操纵稳定性分析带来了方便。

(2)经过对改进车辆悬架的后的分析表明,操纵稳定性得到改善,达到设计要求。

## 参考文献

- [1] 郭孔辉.汽车操纵动力学[M].吉林:吉林科学技术出版社,1991.
- [2] 余志生.汽车理论[M].北京:机械工业出版社,2001.
- [3] 李白娜,杨家军,麦源源.基于 ADAMS / Car 的汽车操纵稳定性仿真分析[J].机械与电子,2006,(6).

- [4] ADAMS Using Guide, Mechanical Dynamics, Inc., 2002.
- [5] ADAMS/Chassis Help.

## Simulation Analysis and Optimization of Vehicle's Handling and Stability Performance Based on ADAMS/Chassis

CHEN Haijun<sup>1</sup>, GE Buksai<sup>2</sup>

(1.SAIC CVTC, Shanghai 200072,China ;2.Nanjing fire Sergeantcy School, Nanjing 211133, China)

Abstract :This paper uses mechanic dynamics analysis software ADAMS/Chassis to build a vehicle virtual model ,which perform constant radius cornering and step steer cornering simulation based on ISO standard, calculate and analysis vehicle's parameter change under before two kind situation, then optimize vehicle virtual model, the results indicate that the structure and material of suspension influence Vehicle's Handling and Stability Performance.

Key words :ADAMS/Chassis ,handling and stability performance of vehicle ,simulation,optimization