

基于 TMS320F2812 的多轴运动控制器研究

林砺宗, 刘 磊

(华东理工大学 机械与动力工程系, 上海 200237)

摘要: 利用 TMS320F2812 芯片的高速运算能力和丰富资源实现了数控系统中实时性要求较高的运动控制(直线插补、连续插补、位置控制、串行通讯等), 并对常规的插补方法提出了改进。上下位机使用 C++ builder 6 的 Victor 串口 VCL 控件实现串行通讯, 并就该运动控制器的硬件及其软件设计的实现方法进行了讨论。通过开发与实际应用验证了系统的可行性。

关键词: 步进电动机; 直线插补; 连续插补; 串行通讯; DSP

Design of Multi-axis Motion Controller Based on TMS320F2812

LIN Li-zong, LIU Lei

(East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

ABSTRACT: Step motor motion control system based on TMS320F2812 as control unit was described, can satisfy the high real-time requirement in NC system, such as beeline interpolation program, continuous interpolation program, position control and serial communication and so on, by its high calculated speed performance, while the general interpolation program is improved. The serial communication between the DSP and the computer was carried out by the Victor control of C++ builder 6. The methods of software and hardware are discussed, and the feasibility of the system was proved.

KEY WORDS: Step motor; Beeline interpolation program; Continuous interpolation program; Serial communication; DSP

0 引言

步进电机作为一种可以开环使用的数字传动装置, 有能快速起动、停止, 转速与输入时钟频率成正比, 能实现精确定位及直接接受数字量等特点^[1]。步进电机运动控制卡多以 PCI 总线作为通讯方式。由于 PCI 总线传输速度可达 132 Mbit/s, 且基于并行传输, 传输准确率高, 可以满足大吞吐量的外设的需求。而对于步进电机控制而言, 多为开环控制, 数据传输量不大, 传输的数据多为控制信号。对于本控制器, 采用基于 SCI 的串行通信方式, 充分利用了 DSP 的资源, 使 DSP 可以对步进电机的速度控制和上位机通讯同时处理, 在软件上加以改进就可以满足系统需求, 既达到了安装简便、操作灵活的要求, 又保证了传输质量。同时由于市面上的运动控制卡多为通用型的,

在实际工程中造成了功能的浪费。针对项目的专用控制器很少, 例如国内著名的固高科技的运动控制卡, 大多都是通用型的, 虽然可以达到项目的要求, 但是很多功能都无法完全应用, 选择功能简单的运动控制卡在功能上又不能完全满足项目需要, 例如步进机电公司的 MPC07 型步进电机控制器, 就缺乏了圆弧插补和连续插补的功能, 某些功能还需要加硬件来扩充, 这便对选型造成了困难, 需要有一款针对性强的控制器来满足项目的需要, 为此利用 DSP 设计了一款针对项目需要的运动控制器。该控制器具备了直线插补、连续插补、位置控制、串行通讯等外设。

1 系统硬件设计

硬件系统框图如图 1 所示。用户通过调用提供的运动控制函数库编写系统软件, 通过串口将控制命令和系统参数发送给 DSP, DSP 利用中断程序来接收并且对控制信号和系统参数进行处理后通

过驱动器来控制步进电机,同时利用 DSP 事件管理器的捕获单元来捕获由光电开关或者限位开关的信号来对步进电机进行定位。本系统选择 TMS320F2812 作为主控芯片^[2-3]。

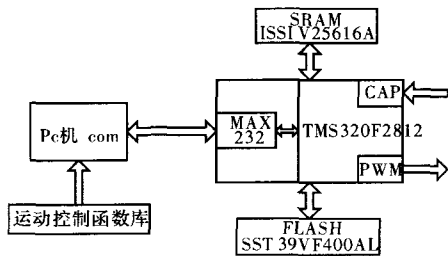


图1 系统硬件框图

对于基于 DSP 平台的串行通讯可以直接采用 DSP 的串行通信接口。F2812 的串口支持 16 级接收和发送 FIFO。SCI 模块采用标准非归 0 (NRZ) 数据模式,可以与 CPU 或其它通信数据格式兼容的异步外设进行数字通讯。当不使用 FIFO 时,SCI 接收器和发送器采用双级缓存传送数据,SCI 接收器和发送器有自己的独立使能和中断,可以独立地操作,在全双工模式下也可以同时操作。

运动控制器上除了常规的元件之外,还增加了 SRAM 和 FLASH,型号分别为 ISV25616A 和 SST 39VF400AL,分别为 F2812 提供了 256K × 16 的片外 SRAM 和 256K × 16 的片外 FLASH,以便后来升级及存储程序。

2 系统软件设计

运动控制器的软件设计包括运动函数库的开发、DSP 固件程序的编写和上位机 DEMO 程序的编制。运动函数库从运动的角度给用户提供了一个软件平台,用户只要调用相关的函数就可以实现具体的运动功能。

2.1 运动函数库的开发

运动控制系统的控制功能主要取决于运动函数库。它是一个面向用户的接口,必须满足用户对于运动控制的需求。在综合分析了对于步进电机控制的需求的基础上,定制了运动函数库。该库主要用于支持二次开发,在库的编写上,主要完成了以下几个工作:

(1) 面向用户提供基本的运动函数,包括单轴运动函数、多轴独立运动函数、多轴插补运动函数等,此外还提供了一些辅助的函数,包括回原

点函数及光电、限位开关查询函数。

(2) 将打包好的数据发向外设。此部分一方面要利用 Windows 的 API 应用程序接口,或者串口通讯的 MSComm 控件,另一方面要使用收发线程完成数据的收发任务。

2.2 DSP 固件程序的开发

DSP 运动固件的开发主要包括单轴运动函数的开发、插补函数的开发、下位机串口通讯函数的开发、CAP 模块关于光电、限位开关的响应。

(1) 单轴运动函数的开发

单轴运动采用直线加/减速驱动。定量驱动时,在确定了加减速方式以后,需要确定以下几个参数:起始速度、平均速度、加速度、减速度(有特殊要求时需要设定,否则系统设定与加速度大小相同)、步进电机总圈数(也可以由工作台行程/丝杠导程决定);在从上位机得到以上几个参数以后,需要判断直线运动方式是运动方式 0 还是运动方式 1。运动方式 0 指的是运动行程短,运动速度未达到输入的最高速度,运动过程中没有匀速运动阶段,只有加速和减速阶段;运动方式 1 指的是运动过程中包括加速阶段、匀速阶段和减速阶段。具体示意图见图 2。

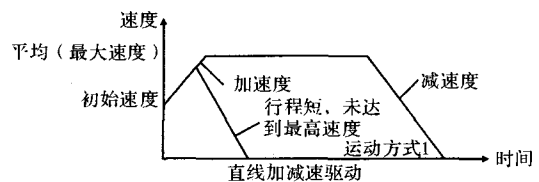


图2 单轴直线运动模式

加速的计数器记录加速所累计的脉冲数。当剩余输出脉冲数少于加速度脉冲时,就开始减速。减速时将用指定的减速度线性地减速至指定速度或者使速度减为 0。判断依据是根据起始速度、平均速度、加速度、步进电机总圈数的关系来判断。判断式如下:

$$\text{当 } \frac{2V_1^2 - V_0^2}{2a} \leq S \text{ 时, 则为运动方式 1, 当 } \frac{2V_1^2 - V_0^2}{2a} \geq S \text{ 时, 则为运动方式 0.}$$

式中, V_1 设定的最高速度, V_0 设定的初始速度, a 为设定的加速度, S 为步进电机总圈数。

对步进电机的加、减速控制常用的是查表法。就是将相邻的脉冲之间的时间间隔放入一张表中,每发一个脉冲就依次从表中取出相应的延时数据,

从而使步进电机实现变速。查表法控制简单,但在速度精度要求很高的情况下,延时表很大,而且控制不够灵活,在最大速度或者加速度改变以后都要修改延时数据表,运算量很大。在本系统中,利用F2812的运算速度快的特点,通过软件编程计算,将步进电机的速度逐一脉冲的改变,在控制上灵活性很大。

用通用定时器 GP1 提供时间基准,设定 DSP 的时钟频率为 150 MHz,用连续增减计数模式产生 PWM 脉冲。脉冲的占空比设为 50%,即:

$$\text{EvaRegs. TICMPR} = \text{EvaRegs. T1PR}/2$$

步进电机在运行过程中的速度设为变量 V (转/分)。经过计算可以得出步进电机转速和 T1PR 之间的关系为:

$$\text{T1PR} = \frac{1.5 \times 10^7}{V \times \text{驱动器细分数}}$$

运行的总步数 S 为:

$$S = \frac{L}{\text{Screw}} \times 200$$

式中, Screw 为丝杠螺距, L 为总行程。

软件实现算法如下:

启动:在启动前需要计算以下数据。单轴运动采用的是运动方式 0 还是运动方式 1(见图 2);在确定了运动方式以后计算在加速阶段、匀速阶段(如果有的话)、减速阶段的步数,将得到的步数赋值给 step 。

加速:在中断程序里边根据设定的加速度改变 T1PR 的值,同时改变 TICMPR 的值和 step 的值,步进角每前进一步, step , 当 step 的值为零的时候进入匀速运动阶段,步数计数器的值重新赋给匀速运动的步数。

匀速:PWM 脉冲发送的频率保持不变,只有 step 的值改变。当 step 的值为零的时候,进入减速运动阶段, step 的值重新赋值减速运动的步数。(当没有匀速运动阶段的时候, step 直接赋值为零)。

减速:检测 step 的值是否为零,为零说明已经走到终点,运动停止,否则仿照加速运动的程序完成减速^[4]。

(2) 插补运动函数的开发

多轴步进电机控制。TMS320F2812 一共具有 4 个独立的通用定时器 GP,所以在单轴运动控制的时候可以同时独立地控制 4 根轴,每个轴可以独立地输出脉冲和方向信号,以控制电机的转动,4 根

轴可以独立地运动,也可以两轴、三轴、四轴联动。下边以两轴直线联动插补为例介绍插补方法。

插补运算一般在中断服务程序中执行。插补程序在每个插补周期运行一次,在每个插补周期中,根据指令进给速度计算出一个微小的直线数据段,经过若干个插补周期以后,插补加工完成一条代码,即从数据段的起点走到终点。在一个处理周期内,插补计算下一个处理周期的位置增量。在本系统中采用了 DDA 数字积分法直线插补。其插补误差小于 $1/2$ 脉冲当量,性能优于传统的逐点比较法。下边以第一象限直线为例简述数字积分法插补的过程,见图 3。

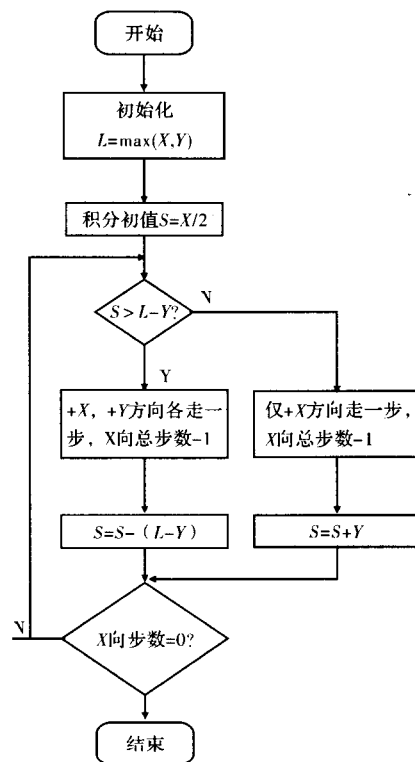


图3 插补函数框图

- 1) 假设直线终点坐标为 (X, Y) , 选定标尺 $L = \max(X, Y)$;
 - 2) 因为 $X \geq Y$, 仅对 Y 向积分, 积分初值 $S = X/2$;
 - 3) 若 $S \geq L - Y$, 则 X 向和 Y 向同时各走一步, 重新计算 $S = S - (L - Y)$; 否则仅 X 走, 重新计算 $S = S + Y$;
 - 4) 若 X 向已经走完足够的步数 X , 则插补结束;
 - 5) 否则重复 3)、4) 步。
- 对于 $Y \geq X$ 的情况, 可以仿照上述过程处理。

此时只需对 X 向积分, 插补结束判定条件变化。圆弧插补以及其它类型的曲线插补也可以由这种方法推导, 只是算法稍微复杂而已, 具体实现方法可以参见参考文献[5]。

(3) 连续插补功能的实现

对于没有连续插补功能的控制器, 如果需要在一插补点结束以后继续下一插补, 只能不断地查询上一插补是否完成, 然后输出下一插补的数据, 如果上位机数据较慢, 或者上位机运行多任务操作系统, 在两次插补之间就会出现停顿, 会影响插补的效果, 而且插补速度很难提高。

本数控制器带有连续插补功能, 可以很好地解决这个问题。它可以在上一插补未结束时, 输出下一插补的数据, 即使在很慢的电脑上, 也可达到好的效果。

当连续插补是直线, 直线插补之间相互交替时, 这样在每个插补节点之间不停地驱动, 连续插补。在连续插补驱动中, 先读取连续插补的允许写入状态和插补数据状态, 如果插补未结束且允许写入, 即可写入下一插补命令。因此, 在所有的插补节点中, 从连续插补驱动开始至结束的时间, 必须长于设定下一个插补节点的数据和发命令时间。

对于连续插补中发生错误时, 就立即在当前插补节点上停止。在停止的插补节点上边, 下一

打开串口:

```
try
{
    YbCommDevice1->Active = true;
}
catch(Exception & e)
{
    ShowMessage("YbCommDevice1:" + e.Message);
    if(! YbCommDevice1->SettingsDialog(this, true))
        Application->Terminate();
}
```

YbCommDevice1->PackageSize = 4096; //最大可发送 4096 个字节的数据包

YbCommDevice1->PackageType = cptFrameTimeout; //用判断超时的方法接收数据包

YbCommDevice1->UsePackage = true; //启动数据包(可以随时启动和停止, 与 Active 属性无关)

写数据

YbCommDevice1->Write(任意数据的地址, 字节数);

例如

```
int i = 5;
```

节点的数据和命令虽然存在, 但命令是无效的。

2.3 上位要 DEMO 程序的编制

DEMO 程序采用 C++ builder 6 来编写。由于 C++ builder 本身并不提供单独的串行通讯组件, 但是并不是说它不能使用这项功能, 而是要借助于一些辅助功能来实现, 如使用 WindowsAPI 函数或者使用 ActiveX 的 MSComm 控件。第一种方法需声明及调用许多 API 函数, 十分烦琐。第二种方法将 API 函数封装起来, 虽较为简便, 但不能满足复杂情况下的通讯要求。本文介绍另外一种方法: 用 Victor 控件处理 PC 机的串口通讯。这是一款由网上编程人员开发的功能强大的基于 C++ builder 的串口通讯控件, 它具有以下特点:

(1) 支持二进制数据和文本数据的收发;

(2) 支持任意格式的数据的收发;

(3) 支持两种数据包协议(识别每帧数据首尾的方法)。

① 超时判断数据首尾, 适用于与单片机和仪表的通讯;

② 帧首尾和控制符, 适用于大量复杂的数据传输, 例如文件收发等^[6]。

下面举例说明 PC 机是如何通过串口给 DSP 发送数据的。

```
YbCommDevice1->Write(&i, sizeof(int));
```

```
YbCommDevice1->Write(Memo2->Text. c_str(), Memo2->Text. Length());
```

读数据

实际读出字节数 = YbCommDevice1 -> Read(任意缓存地址, 缓存容量)。

为了判断数控器运动状态的正确, 编制了一个 DEMO 程序来检测。其中图 4 为 DEMO 程序操作界面。

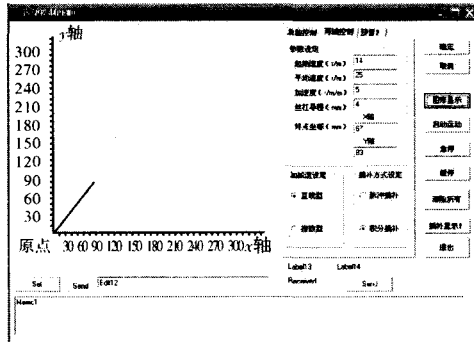


图 4 DEMO 程序操作界面

3 结论

设计开发了基于 DSP 的步进电机控制器, 实验证明硬件电路可靠。在 C++ Builder 环境下, 利用 Victor 控件实现了 PC 与 DSP 之间的双向串行通讯。该串行通讯方法已经成功应用到开发的基于 DSP 的步进电机控制器中, 所给出的代码都经过调

试并在 DEMO 实验界面上取得了较好的实用效果。实验结果表明, 用这种方案实现上位机对基于 DSP 的步进电机的控制系统进行监控可行有效。

参考文献

- [1] 郭成, 翁盛隆, 谈士力. DSP 和 PBL3717A 构成的步进电机的控制系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2004, (3): 63-67.
- [2] TMS320C28x DSP CPU and Instruction Set Reference Guide. Texas Instruments, 2002.
- [3] 张卫宁. TMS320C28X 系列 DSP 的 CPU 与外设[M]. 清华大学出版社, 2004
- [4] 许贤泽, 喻佳, 张立英. 步进电机多轴联动 DSP 控制系统研究[J]. 机电产品开发与创新, 2005(9): 110-112
- [5] 唐学飞, 周建来. 数控系统圆弧插补算法的改进[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2001(10): 33-34
- [6] 范逸之, 江文贤, 陈立元. C++ Builder 与 RS232 串行通信控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.

作者简介: 林砺宗(1961-), 男, 汉族, 副教授, 博士, 福建莆田人, 研究方向为机电一体化控制技术, 机器人与数控技术。

刘 磊, 男, 华东理工大学机械与动力工程学院研究生, 研究方向为运动控制技术。

(上接第 4 页)

IEEE Transaction on Magnetics, September, 1992, 28(5).

- [5] 李鲲鹏, 胡虔生, 黄允凯. 计及绕组电感的永磁无刷直流电动机电路模型及其分析[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(1): 76-80.
- [6] 陈世坤. 电机设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1997.
- [7] Iorillo F, Novikov A. An Improved Approach to Power Losses in Magnetic Laminations Under no Sinusoidal Induction Waveform[J]. IEEE Trans, on Mag, 1990, 26(5): 2904.
- [8] Boglietti A, Lazzari M, Pastorelli M. A Simplified Method for the Iron Losses Prediction in Soft Magnetic Materials with Arbitrary Voltage Supply[J], 2000, IEEE, 269-276.
- [9] Antonino Di Gerlando, Roberto Perini. Evaluation of the Effects of the Voltage Harmonics on the Extra Iron Losses in the Inverter Fed Electromagnetic Devices[J]. IEEE Transaction Energy Conversion, March 1999, 57-64.
- [10] Hendershot J R Jr, The Miller. Design of Brushless Permanent-

Magnet Motors [M]. Clarendo Press, Oxford, 1994, 8-5 ~ 8-6.

- [11] 黄平林, 胡虔生. 集中绕组永磁无刷直流电机电枢及绕组电感的解析计算[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(12): 127-132.
- [12] Amar M, Kaczmarek R. A General Formula for Prediction of Iron Losses Under No-sinusoidal Voltage Waveform[J]. IEEE Transaction on Magnetics, September, 199, 31(5): 2504-2509.
- [13] 电子工业部第二十一研究所. 微特电机设计手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1998.

作者简介: 余 莉(1973-), 女, 博士研究生, 从事特种电机理论分析与设计。

胡虔生(1942-), 男, 教授, 从事特种电机理论分析与设计, 电气检测与电机故障诊断等技术研究。