

基于 PC + DSP 的滚齿数控系统的开发

陈加松, 曹树坤

(济南大学机械工程学院, 济南 250022)

摘 要:随着社会和工业领域对齿轮加工质量和加工效率要求的不断提高,对滚齿数控系统提出了更高要求。鉴于目前滚齿机虽应用广泛,但仍以传统的机械式滚齿机为主,滚齿数控系统发展相对滞后,不能满足齿轮加工的要求,提出了对滚齿机进行数控系统的开发,在对传统滚齿机数控系统深入分析的基础上,将展成运动和分度运动纳入数控的思想。借助 PC 机和 DSP 芯片进行了滚齿数控系统模型结构设计,完成了数控系统硬件设计并进行了相应的软件设计,实现了软硬件之间的串口通信,并进行了相应的程序设计。系统的创新点是实现了一般位移和展成、分度运动的全数控化,充分发挥了 DSP 强大的运算能力和高速性。试验表明,该系统实现了对展成和分度运动的精确控制,达到了预期效果。

关键词:滚齿;PC + DSP;数控系统;精确控制

中图分类号:TB115

文献标志码:A

引 言

滚齿加工虽然已广泛应用于汽车、工程机械及航天工业等领域,但传统的机械滚齿机仍然占据着主导地位。传统的机械滚齿机床主电机不仅要驱动展成分度的传动链,还要驱动差动和进给传动链,复杂的传动链导致机械结构复杂、精度低、调整困难,无法适应现代齿轮加工“高效高速、高精度、功能复合、绿色环保”的发展要求^[1]。因此,需要采用 PC + DSP 对传统滚齿机的数控系统进行开发。滚齿机数控系统的开发包括整体结构模型的开发、硬件结构开发、系统软件开发。

目前国外滚齿机数控系统主要可分为两种,一种是只能实现 X、Y、Z 一般位移控制,而展成运动和分度运动仍由机械传动链实现;另一种则将展成和分度运动也纳入数控之内。国外数控一般是采用电子齿轮实现展成与分度运动,这是一种硬件控制。近年来,我国滚齿机数控系统的开发取得了一定成就,开发了 23 轴直线运动和六轴四联动数控高速滚齿机。但与发达国家同类产品相比我国仍存在着较大差距,这归因于基础研究差、整体设计能力不足^[2]。

DSP 具有强大的运算能力、良好的输入/输出操作功能、高速处理和实时控制性能,能大幅度提高运动控制器的性能。该数控系统采用 PC 机作为上位机,上位机与 DSP 实现连接和通讯,DSP 控制伺服驱动器进而最终控制伺服电机,实现滚齿的展成和分度运动。本文旨在通过对开放式运动控制结构的研究,开发出一套基于 PC + DSP 的开放式滚齿数控系统。实现三轴位移运动和展成、分度运动的全数控化^[3]。

1 滚齿数控系统模型结构设计

DSP 采用 TI 公司新推出的 F2812 控制芯片,该芯片为 32 位处理器,运行速度最高为 150 MIPS,指令周期为 6.66 ns,实时控制性很强。有 EVA、EVB 两个事件管理模块,且每个管理模块具有 2 个通用定时器和三个比较单元,能支持 8 通道 16 位 PWM 输出。由于在电流环等采用中频率较高,PWM 波的脉冲宽度随着每次测得的电流而调整。若 EVA、EVB 一起工作,电流的变化在定时器中断响应时可能无法被检测到,此时,16 位处理器的两个事件管理模块只能有一个有效。尽管如此,F2812 高达 150 MIPS 的运行速度,能有效的捕捉到电流

收稿日期:2013-05-21

作者简介:陈加松(1986-),男,山东莒县人,硕士生,主要从事机械电子方面的研究,(E-mail)563603861@qq.com

的变化,实现对定时中断的及时响应,实现两个事件管理模块的同时应用。所以,要实现两台三相伺服电机和四台步进电机的控制,只需要一片 F2812 DSP 芯片^[4-5]。滚齿数控系统的模型结构如图 1 所示。

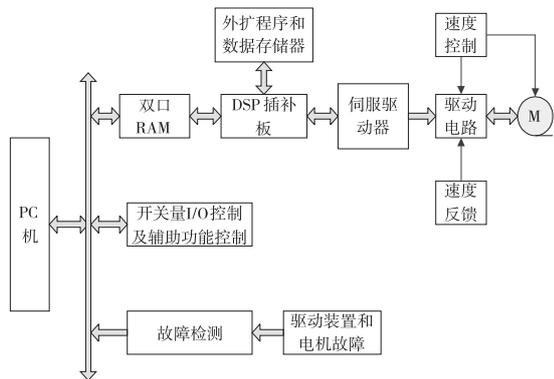


图 1 滚齿数控系统的模型结构

该滚齿数控系统模型结构中所采用的 F2812 DSP 芯片接收的是经 A/D 转换后所得到的以抽样形式表示的数字信号,DSP 芯片首先对输入的数字信号进行一系列的乘累加操作,然后在交换系统中进行数字处理。在交换系统中,处理器的作用是进行路由选择,并对输入数据进行修改。最后经过处理后的数字样值再经 D/A 变换转换为模拟样值,之后再内进行插和平滑滤波就可以得到连续的模拟波形。

1.1 滚齿数控系统硬件设计

该数控系统的硬件实现了模块化设计,通过 ISA 总线与 PC 机通讯,由上位 PC 机实现各实时模块的协调工作。F2812 DSP 通过 EVA、EVB 模块将伺服电机的驱动信号转换为相应的 PWM 波形输出。采用 FPGA 对 PWM 功能进行扩展,从而控制另一个两通道 PWM 的输出,最终驱动步进电机实现四轴联动。充分发挥 DSP 所具有的高速数据采集和实时控制的特点,实现其计算和插补的实时高速性,完成对空间直线和圆弧的插补,从而大大减轻主机负担。主机与 DSP 之间的双口存储方式有效的提高了输入/输出的通信速度。控制系统提供 8 路 16 位模拟电压控制信号,8 路 4 倍频的差动式光电编码器的反馈信号^[6]。为满足工业环境的要求,输入输出接口均采用光电隔离保护措施。该系统硬件结构设计如图 2 所示。

本控制系统中,DSP 通过 ISA 总线与计算机通信,主机一方面从各控制轴采集数据进行计算;另一方面,又根据工艺及数学模型运算生成运动控制指令,借助双口存储器与 DSP 进行数据交换,DSP 通过计算,将命令传送至各轴的伺服驱动器,完成运动控制,加工出满足工艺要求的合格零件。由于使用标准的 PC 工控机作为

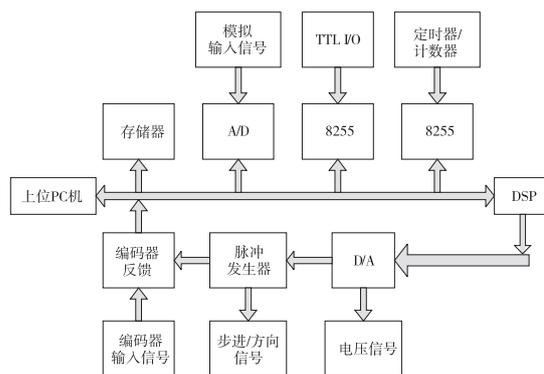


图 2 系统硬件结构设计图

主机,从而可以采用标准化接口和通用软件开发工具,灵活的进行系统开发,使系统具有开放性和通用性,可方便的实现远程控制。

1.2 滚齿数控系统软件设计

数控系统的硬件设计之后,软件设计就成为系统设计的关键,该系统采用 C 语言作为开发工具,选用可方便添加或删除模块,甚至重构模块的面向对象的模块化编程方法。本系统采用了一种全新的参数编程方法,只需通过输入滚刀和所需要加工齿轮的工艺参数,即可由上位 PC 机控制完成加工^[7]。软件设计模块如图 3 所示。

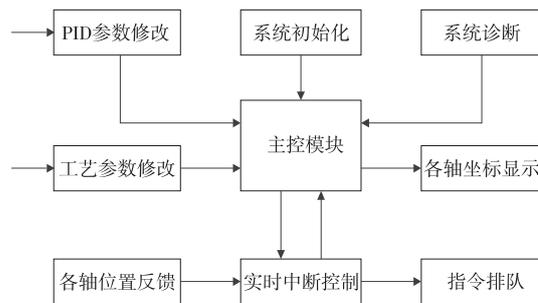


图 3 软件设计模块

其中对显示器图形方式的初始化、寄存器初始化、矢量表初始化、串行口初始化等由系统初始化模块完成,各被控轴的运动状态的检测由系统诊断模块完成,实时控制模块则由中断服务程序实现,它通过读取每个时钟中断周期内各轴的位置,计算出符合加工工艺要求的运动控制指令,送到运动控制器执行。

1.3 总体调试

总体调试包括系统初始化和软硬件的联合调试等。系统初始化设置系统的工作环境极为重要^[8]。本系统的初始化工作主要包括:

(1) 中断矢量的重定位。将中断矢量表的起始地址设置在 7F00H 处,设置方法是对 PMST 寄存器进行设置。

(2) 工作始终设置。系统开始时,工作时钟是根据外部三个引脚的设置进行的。例如:本系统 CLKMD1 ~

3 = 101b, 因此开始时的工作时钟为晶体频率 1/4, 如晶体的频率为 20 MHz, 则开始时的时钟为 5 MHz。正常工作时的频率为 100 MHz, 因此需要设置的倍数为 5 (20 × 5 = 100)。设置的方法是对 CLKMD 寄存器进行设置。

(3) 等待状态数的设置。外部双口 RAM 的速度是 55 ns, 而正常工作的指令周期是 10 ns, 因此需插入 5 个等待状态。设置的方法是对 SWWSR 寄存器进行设置。

(4) 中断设置。打开串行口和 INTO 中断 (外部脉冲每 10 ms 中断一次)。设置方法是对 LMR 寄存器进行设置。

(5) 软硬件联合调试。联合调试是将所有程序综合在一起利用仿真器和带仿真接口的用户硬件系统进行调试。程序包括: 初始化程序、语音编解码程序、串行口中断服务程序、INTO 中断服务程序等。初始化程序完成系统的初始化, 语音编解码程序完成算法, 串行口中断服务程序完成语音样值得输入和输出, INTO 中断服务程序完成于双口 RAM 每 10 ms 编码数据的交换。

2 通信接口设计

该滚齿数控系统采用 V. 24 这种典型标准的同步串行通信方式, 在这种通信方式中, 主要的通信信号包括串行收发及同步时钟, 利用 F2812 DSP 芯片附加一个非门就可以实现与外部设备的同步串行通信^[9]。在 V. 24 这种接口标准中, 串行数据的发送是与外部提供的发送时钟同步的, 每个比特与发送时钟的下降沿对齐, 也就是说, 每个比特起始于时钟的一个下降沿而终止于下一个时钟的下降沿。因此, 为保证可靠接收, 应该在时钟的上升沿, 对接收数据进行采样。当外部提供的串行接收时钟的上升沿到来时, 经过反相形成下降沿触发 DSP 中断, DSP 响应中断并在中断程序中采样, 从而完成一次比特接收。其中串行口接收中断服务程序如下:

```
IO_ADD. word    0x808000
RECEIVEO:
    PUSH        ST
    PUSH        AR0
    PUSH        R0
LDI    @IO_ADD, AR0
LDI    * + RA0(4CH), R0; 取数
STI    R0, * + AR0(48CH); 送数
POP    R0
POP    AR0
POP    ST
RETI
```

将整个系统的软件写入 EPROM, 插入电路板, 就可使系统成为独立运行的 DSP 系统^[10]。将各个程序编译或汇编并链接形成最后的可写入 EPROM 文件的过程如下:

(1) 编译汇编 C 程序和汇编程序, 形成扩展名为 .obj 的目标文件。

(2) 链接目标文件, 形成扩展名为 .out 的输出文件。首先编写一个链接命令文件, 设文件名为 mbe.cmd, 则链接的方法为:

```
lnk30 mbe.cmd
```

(3) 将 .out 文件格式转换为 ti-tagged 文件格式, 形成 ti 格式文件 mbe.ti。

(4) 将 mbe.ti 文件格式转换为 8 位字节宽度的二进制文件 mbe.bin, 转换方法为:

```
tb12 mbe
```

(5) 将 mbe.bin 文件用 EPROM 写入器写入 27C512 EPROM 中。

(6) 将 EPROM 插入电路电路板的 EPROM 位置, 系统即成为可独立运行的 DSP 系统。

本系统 F2812 DSP 的链接命令文件如下:

```
MEMORY
{
EXT_RAM : org = 0x010000 , len = 0x17FF
RAM0    org = 0x809800 , len = 0x400
}
SECTIONS
{
    .text : { } > EXT_RAM
    .data : { } > EXT_RAM
    .cinit : { } > EXT_RAM
    .bss : { } > EXT_RAM
    .stack : { } > RAM0
}
```

3 效果示例

利用样机进行了精度切削试验。试件毛坯数量为 8 件, 参数如下: 模数 $m = 1.5$ mm, 齿数 $z = 60$, 压力角 $\alpha = 20^\circ$, 螺旋角 $\beta = 20^\circ$, 采用硬质合金 A 级滚刀, 滚刀转速 1200 r/min, 轴向进给速度为 0.2 mm/r, 径向进刀深度 $T_1 = 2.5$ mm, $T_2 = 0.3$ mm, 连续切削 8 件。滚刀时, 在齿坯外缘作零刻线标记, 并将其作为检测标记的起点。滚齿后试件齿距误差如图 4 所示, 其中: 系列 1 为右侧齿距误差; 系列 2 为左侧齿距误差; 系列 3 为未采用该数控系统前的齿距误差; 系列 4 为采用该数控系统后的齿距误差。试件的相邻齿距误差是滚齿机展成分度精度的真正体现。由图 4 可以看出: 采用该系统后, 所有试件的精度均等于或优于之前未采用该系统时的精度, 这充分体现了该系统对提高滚齿机的展成分度精度的作用效果。

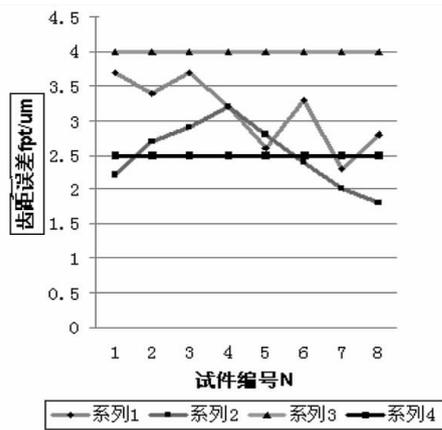


图4 精度切削试验试件齿距误差分布图

4 结论

(1) 该滚齿数控系统采用 PC + DSP 的开发方法, 提高系统的开放性, 实现了对展成运动和分度运动的精确控制。

(2) 采用 C 语言作为开发工具, 进行模块化编程, 只需通过输入滚刀和待加工齿轮参数就能实现 PC 机对加工过程的控制。

(3) 建议选用 PC + DSP 的这种数控系统开发方法, 对传动数控系统进行改造, 或进行新系统的开发。

(4) 该系统的研究设想是通过 DSP 实现对展成和分度运动的精确控制, 简化传统数控滚齿系统的传动链, 从而降低传动误差。控制的延时性问题尚待解决。

参考文献:

- [1] 廖绍华, 李先广, 曹华军, 等. 面向绿色制造的滚齿机研究现状分析及发展趋势[J]. 制造技术与机床, 2004(11):117-125.
- [2] 丁仕燕, 唐国兴, 陆慧华, 等. 教学型四轴数控滚齿机的研制[J]. 常州工学院学报, 2009(5):53-55.
- [3] 唐英, 周群, 崔咏琴, 等. 基于 PC 机的经济数控系统的研制[J]. 机械制造与研究, 2008, 37(2):75-77.
- [4] 舒畅, 任延明, 李凯峻, 等. 滚齿机的数控改造[J]. 机械制造与自动化, 2008(2):28-35.
- [5] 郭光立, 毛玺. 滚齿机自动控制系统设计[J]. 制造业自动化, 2009(2):33-45.
- [6] 王少江, 侯力, 匡红. 滚齿机控制系统的数控化研究[J]. 机床与液压, 2009(7):54-72.
- [7] 王时龙, 康玲, 周杰, 等. 数控滚齿自动编程技术的研究[J]. 中国机械工程, 2008(16):43-45.
- [8] 张建育, 宋奇才, 王晓娟. 基于 DSP 运动控制器的开放式数控系统关键技术研究[J]. 青海大学学报, 2008(2):77-85.
- [9] 胡晓娟, 李华, 刘利贤. DSP 与 PC 机串行通讯的设计[J]. 微计算机信息, 2008(25):154-167.
- [10] 王林, 戴曙光, 穆平安, 等. 基于 TMS320F2812 片外 FLASH 烧写技术[J]. 现代科学仪器, 2008(3):28-37.

Development of Hobbing CNC System Based on PC + DSP

CHEN Jia-song, CAO Shu-kun

(College of Mechanical Engineering, University of Ji'nan, Ji'nan 250022, China)

Abstract: With the development of society and industry, the requirements of gear machining quality and efficiency continue to improve, which requires a higher request to the gear CNC system. Now, the hobbing machine is widely used, but still with the traditional mechanical gear hobbing machine. The development of hobbing CNC system is relative lag, and it cannot satisfy the requirement of gear processing. Therefore this paper puts forward the development of CNC system for gear hobbing machine. Based on the depth analysis of traditional hobbing machine CNC system, it proposes a thought that put generating motion and indexing movement into CNC and designs the rolling model structure of CNC gear system with PC and DSP chip, finishes the designation of the hardware of the number control system and the corresponding software, realizes the serial communication between hardware and software, and designs the corresponding program. The innovation point of system is the realization of the numerical control of the general displacement and expansion movement, it gives the full play of the powerful DSP computing power and speed. After testing, the system has achieved the precise control of generating and indexing motion, which achieves the desired effect.

Key words: gear hobbing; PC + DSP; CNC; precision control