基于 DSP 的步进电机控制系统设计

张宝发,赵 辉,岳有军
(天津理工大学自动化学院,天津 300384)

摘要:根据步进电机原理及 DSP 控制方法,进行了步进电机控制系统的硬件和软件设计,同时介绍了与上位工业控制机的通信。DSP 采用 TMS320LF2407A,它控制机床的切(削)刀在 X,Y 两方向上移动。此位置控制系统采用开环控制方式,在硬件上 DSP 通过 PCI 总线接口芯片 CH365 和 8255 通用芯片与 PC 机进行通信,在 DSP 与步进电机间选用脉冲分配和驱动电路芯片 UCN5804B。在软件上给出了步进电机位置控制和加减速控制的程序流程图。该设计可应用于经济型数控机床。

关键词:步进电机;数字信号处理器;工控机;PCI 总线
中图分类号:TP271 **文献标识码**:A **文章编号**:1002 - 1841(2010)08 - 0063 - 03

Designing of Stepper Motor Control System Based on DSP

ZHANG Bao-fa, ZHAO Hui, YUE You-jun
(Tianjin University of Technology, School of Electrical Engineering, Tianjin 300384, China)

Abstract: According to the principle of stepper motor and DSP controlling method, this paper despgned the hardware and software of stepper motor control system. DSP(TMS320LF2407A) controls machine tool to move in X and Y directions. This position control system uses the open-loop control mode, the DSP hardware communicate with PC through the PCI bus interface chip CH365 and the 8255 universal chip, and communicate with stepper motor through pulse distribution and drive circuit chip UCN5804B. In designing the software, program flow charts for positioning and acceleration/deceleration is given. This design can be applied to small economic machines for cutting or carving.

Key words: stepper motor; DSP; industrial PC; PCI bus

0 引言

随着微型计算机和大功率电子元件的迅速发展,很多传统的模拟控制技术已让位于微机控制技术。众多电机通过微机进行控制,提高了运行性能,在机电一体化及工业自动化控制方面取得令人瞩目的成果。通过微机控制,可使电机的性能有很大的提高[1]。目前,微机控制广泛应用于数控机床等自动化设备的数控位置伺服系统。

步进电机是工业过程中一种能够快速启动、反转和制动的执行元件,其功能是将电脉冲转换为相应的角位移或直线位移。在开环条件下,不仅能够实现静态和动态的定位,而且能够自锁。作为一种数字伺服执行元件,它具有结构简单、运行可靠、控制方便、控制性能好等优点,广泛应用在数控机床、机器人、自动化仪表等领域,尤其是在强调速度控制、位置控制的伺服系统,例如数控设备中的刀具快速定位以及轮廓的定位跟踪系统[2]。

为了实现步进电机的运动控制,较多采用的一种方案是以单片机作为控制系统的微处理器,通过一些大规模集成电路来控制其脉冲输出频率和脉冲输出数,实现步进电机的速度和位置定位。但是,这种方案中微处理器所需的周边器件较多,对整个系统的稳定性、可靠性有较大影响,同时在某些控制场合,其程序处理速度也成为制约提高系统实时控制性的一个瓶颈[3]。为了提高性能,在先进的数控伺服系统中,已采用高速数字信号处理芯片,DSP 芯片是一种特别适合于进行数字信号处理运算的微处理器。芯片一般均采用特殊的软、硬件结构,其内部的程序空间和数据空间分开,可以同时访问指令和数据,并且拥有快速的中断处理和硬件 I/O 支持,具有在单周期内操作的多个硬件地址产生器,可以并行执行多个操作,片内具有快速 RAM,通常可通过独立的数据总线在不同数据块中同时访问。同工业自动化控制中常用的 8 位或 16 位单片机相比,DSP 芯片具有更适合于数字信号处理的软件和硬件资源,可用于复杂的数字信号处理算法。TMS320LF2407A 是 TI(德州仪器)公司生产的是适用于工控领域应用而设计的一款工控型 DSP 芯片,集成数字 I/O、EV、ADC、SPI、SCI、CAN 控制器等丰富的控制资源,这些丰富的片上资源使得它在工业控制中尤其是在电机控制应用中比传统的单片机有着无以伦比的优势。

1 总体方案

系统是面向数控机床位置伺服系统进行设计,为达到实时性控制要求,X 向位置和 Y 向位置均由 DSP 进行控制,而用户面向的上位机是工业控制机(或 PC 机),DSP 通过 PCI 总线与主机通信。此位置伺服控制采用开环控制方式,用户在工控机上进行指令操纵,并监控电机运行过程,进行工作的其他功率电机可另行手动调速控制。总体结构框图如图 1 所示。

2 硬件设计

2.1 硬件结构组成

PCI 总线协议复杂,设计 PCI 控制接口难度较大,采用专用

基金项目:天津市高等学校科技发展基金项目(2006ZD32)
收稿日期:2009 - 11 - 02 **收修改稿日期**:2010 - 04 - 25

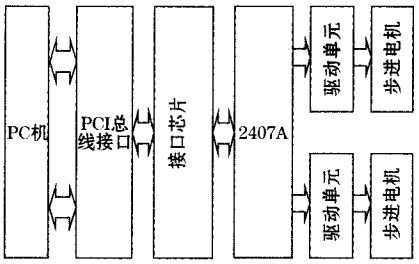

图1 总体结构

接口器件虽没有可编程逻辑器件那么灵活，但能够有效降低接口设计难度，缩短开发时间。而通用 PCI 接口芯片功能全面强大，具有较低的成本和通用性，只需使用地址线、数据线以及少数几个读写控制信号，就能实现 PCI 总线与 PCI 设备之间的连接，类似 ISA 接口那么简单方便。该设计选用 PCI 总线接口芯片 CH365，它是用于低成本的计算机板卡，也用于高速实时的 I/O 通信[4]。CH365 与 2407A 之间通过 8255 进行双向数据传输，连接如图 2 所示。

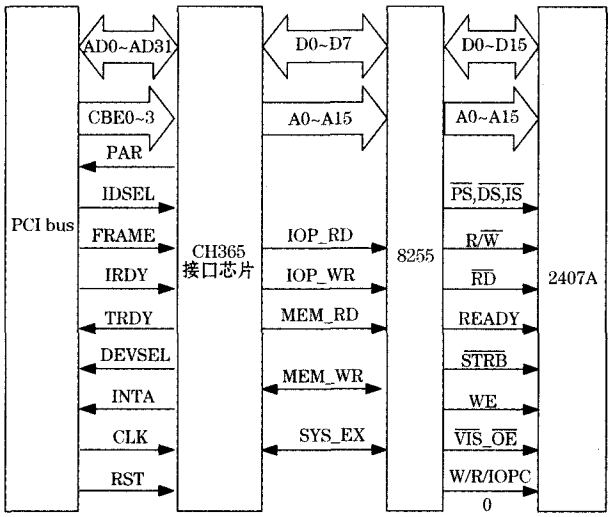

图2 2407A 与 PC 连接

步进电动机是一种将脉冲信号变换成相应的角位移（或线位移）的电磁装置，当有脉冲输入时步进电动机一步一步地转动，每给它一个脉冲信号，它就转过一定的角度。步进电动机的角位移量和输入脉冲的个数严格成正比，在时间上与输入脉冲同步，因此只要控制输入脉冲的数量、频率及电动机绕组通电的相序，便可获得所需的转角、转速及转动方向。在没有脉冲输入时，在绕组电源的激励下气隙磁场能使转子保持原有位置处于定位状态。

反应式步进电动机的步距角按下式计算[5]：

$$\theta_b = 360/NZ_r$$

式中：Z_r 为转子齿数；N 为拍数，$N = K \cdot m$；m 为电动机相数；$K = 1$（单拍或双拍），$K = 2$（单双拍）。

电动机的转速可由下式计算：

$$\omega = \theta b \cdot f$$

当工作方式确定后，调整脉冲的频率 f 就可以对电机进行调速。

TMS320LF2407A 事件管理器 A、B 分别控制 2 台步进电机，在 2407A 与步进电机间选用脉冲分配和驱动电路芯片 UCN5804B[1,6]，并以四相反应式步进电动机为例，将 UCN5804B 置成单双八拍工作方式。硬件连接如图 3 所示。

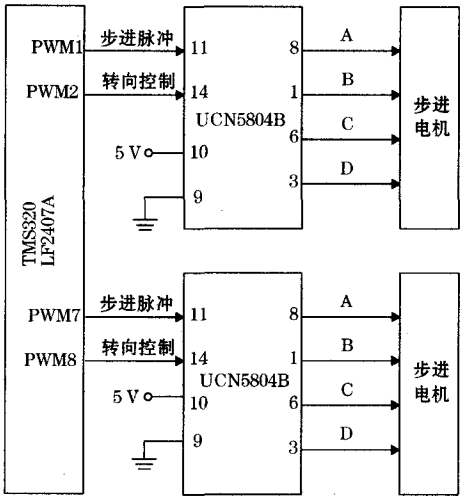

图3 2407A 与电机连接

2.2 PWM 控制步进电机转速原理

TMS320LF2407A 集成了通用定时器和脉宽调制输出通道，并提供使用定时器周期寄存器的周期值和比较寄存器的比较值来实现产生 PWM 波的方法。周期值用于产生 PWM 波的频率（或周期），比较值用于产生 PWM 波的脉宽，比较值小于周期值。根据比较寄存器的不同，PWM 波有 2 个来源：

（1）利用定时器、定时器周期寄存器和比较寄存器作用输出 PWM 波；

（2）使用比较单元的比较寄存器。6 个比较单元，每个比较单元各输出 2 个可带死区的 PWM 波。

如果把 PWM 波上升沿（或下降沿）作为驱动步进电机转动的脉冲（称 PWM 脉冲），则通过实时调节 PWM 波的频率（或周期）以实现对步进电机的转速控制。步进电机在每个 PWM 脉冲下转动 1 步，转动角度为 1 个步距角 θ_b. 当 DSP 产生 k 个 PWM 脉冲时，步进电机转动的角位移为

$$\theta = \theta_b \cdot k (k \in N)$$

步进电机转动的角速度为

$$\omega = \frac{d\theta}{dt} = \theta_b \cdot \frac{\Delta k}{\Delta t}$$

式中：$\Delta k/\Delta t$ 的物理意义是单位时间内的脉冲个数，即脉冲频率。

由上式可计算出 PWM 脉冲频率，按此频率设置定时器周期值和比较寄存器比较值，DSP 事件管理器依周期值和比较值输出上述频率的 PWM 波。在变速控制中，角速度随时间变化。要求 DSP 程序实时改变定时器周期值，使 PWM 脉冲频率随时间变化以实现变速控制。PWM 脉冲频率控制精度高，则步进电机速度控制精度也高[7]。

3 软件设计

3.1 步进电机位置控制

步进电机的位置控制指控制步进电机带动执行机构从一个位置精确地运行到另一个位置，步进电机的位置控制是它的

一大优点,它可以不用借助位置传感器而只需简单的开环控制就能达到足够的位置精度。

步进电动机的位置控制需要 2 个参数:绝对位置(执行机构当前位置)是有极限的,其极限是执行机构的运动范围;相对位置(移动到目标的距离)将被折算成电机步数[1,5]。

位置控制的一般做法是:步进电机每走 1 步,步数减 1,如果没失步存在,当执行机构到达目标时,步数正好为 0。绝对位置可作为人机对话的显示参数,它与步进电机的转向有关,当步进电机正转时,每走一步绝对位置加 1,当步进电机反转时,每走一步觉得位置减 1。位置控制子程序流程图如图 4 所示。

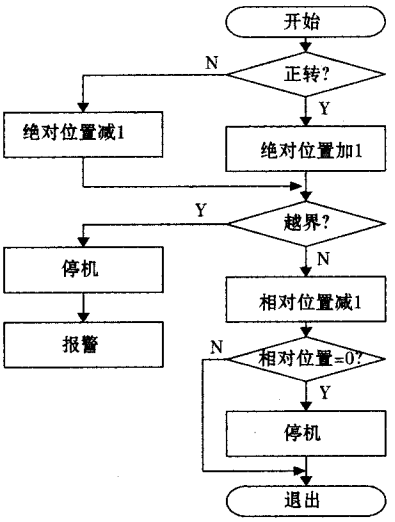

图 4　位置控制子程序

3.2　步进电机加减速控制

步进电动机在旋转过程中要经历加速、减速过程。如果启动时一次将速度升到给定速度,由于启动频率超过极限启动频率就要发生失步现象。如果到终点时突然停下来,由于惯性作用,电动机会发生过冲现象,造成位置精度降低。如果非常缓慢地加减速,电动机虽然不会产生失步和过冲现象,但影响了执行机构的工作效率[8]。为了满足加、减速要求,步进电动机运行通常按照加、减速曲线进行。加、减速运行曲线没有一个固定的模式,一般根据经验和试验得到。

步进电机的加减速控制就是控制步进电机去拖动给定的负载,通过加速、恒速、减速过程,从一个位置运行到另一个位置。这就有 2 个要求:总步数要符合给定值;总的走步时间要尽量短[5]。加减速规律一般选择按指数规律,也就是升速开始时先采用大一点的加速度,随着转速的升高,加速度逐渐减小;减速时则是高速段减速度小一些,低速段减速度大一些,这样符合步进电机的输出转矩随转速的升高而减小的状况。用 DSP 对步进电机进行加减速控制实际上就是控制每次换相的时间间隔。升速时,使脉冲串逐渐加密,减速时则相反,即不断改变定时器的装载值。实际编程时使用离散化的指数加减速曲线,那么在每一速度级上速度保持的时间不一样长。为简化程序,用速度级数 N 与一个常数 C 的乘积表示,速度每升一级,步进电机都要在该速度级上走 NC 步。可设速度级差为 10 个定时计数时钟,具体据实际应用而调整[1]。根据此规律,设计加减速子程序流程图如图 5 所示。

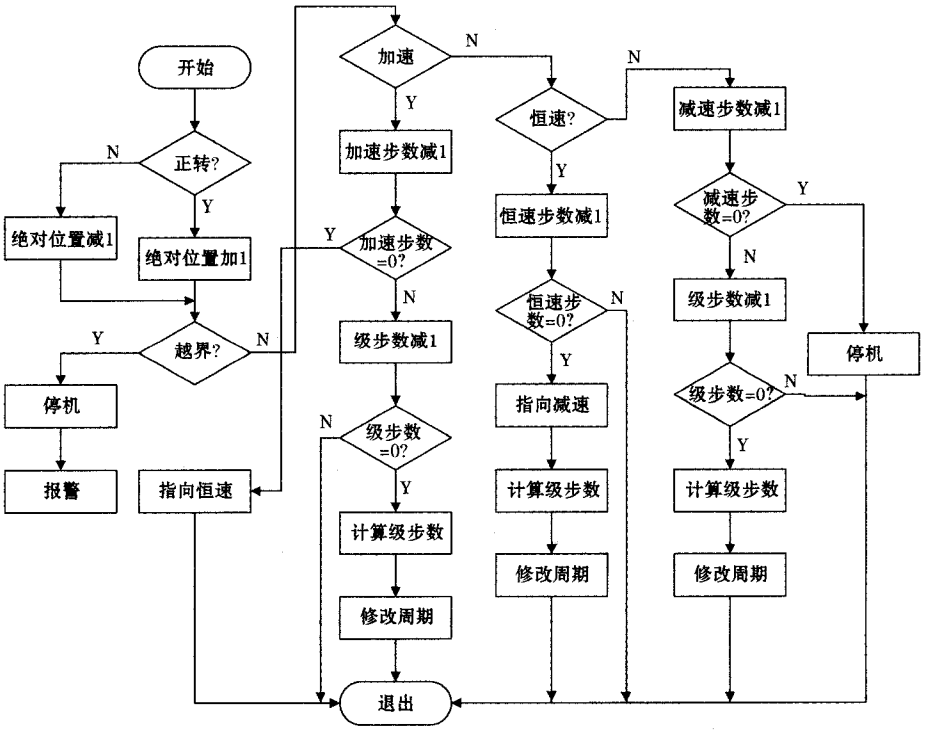

图 5　加减速子程序

3.3　PCI 总线编程

对于上位机上的控制界面的设计可以采用多种语言,如 Visual Basic, Visual C + +, Delphi 等语言。界面的设计相对简单,比较复杂的是将 X, Y 位置实时显示在屏幕 (下转第 81 页)

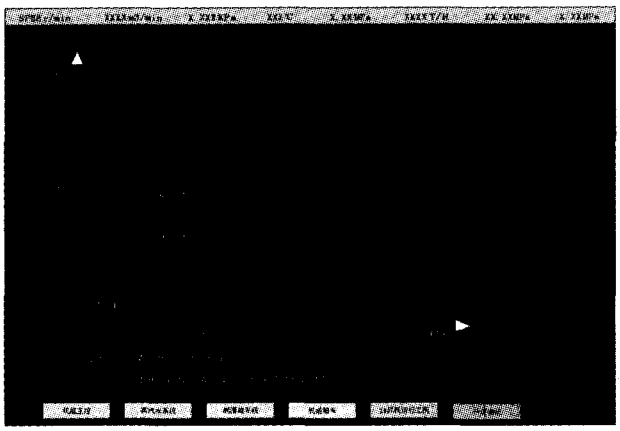

图 6　升速曲线

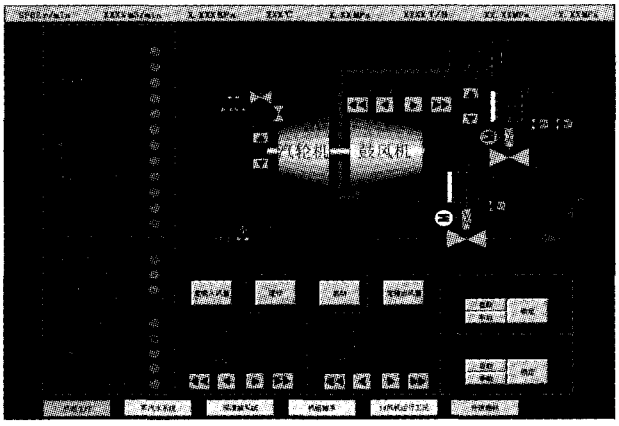

图 7　机组主控画面

4　结束语

湘钢#1 轴流压缩机经过了近半年的稳定运行,得到了用户的肯定。作为国产 DCS 控制系统第一次应用于进口压缩机的改造,在克服了资料短缺、工期紧张、施工难度大等一系列困难,在用户的大力支持下成功地完成了此次工程。HOLLiAS - MACS 控制系统自投运以来,整个系统运行稳定可靠,对突发事件反应灵敏,调节的精确性和控制的准确性确保了高炉送风的稳定,实现了预期高可靠性的目标,为安全生产、稳定向高炉送风起到了很好的作用,使高炉产量得到显著的提高。同时也证明了控制系统设计合理、可行,且安全可靠、运行平稳、操作方便灵活的特点。

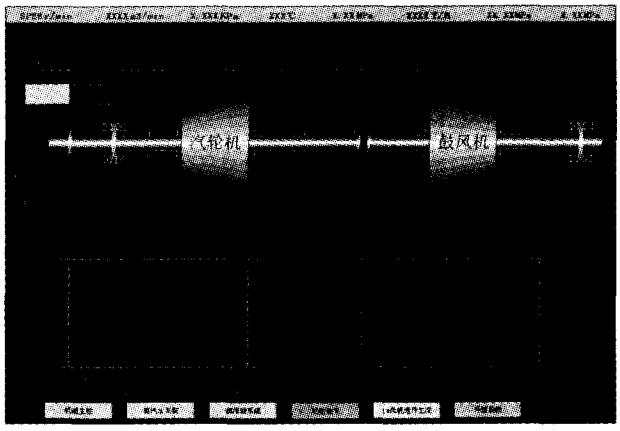

图 8　机组轴系状态监测画面

参考文献:

[1]　王志清. 透平压缩机的调节运行与振动. 北京:机械工业出版社,1996: 75 - 115.

[2]　杭州和利时自动化有限公司. HOLLiAS - MACS 硬件 SM 系列使用手册. 北京:和利时公司,2008.

[3]　李胜利,魏晓冬,万书春. AV45—12 轴流鼓风机控制系统的实现. 工业计量,2009(3):17 - 19.

作者简介:肖志刚(1972—),工学博士,主要从事过程自动控制系统的研究和设计工作。

(上接第 65 页)上,并根据工人设定的曲线移动,便于显示工作进度,这些用到计算机的图形处理和操作[9]。界面程序中与 PCI 总线接口的数据传输程序根据 CH365 和 8255 硬件的特性进行编程。

4　结束语

根据步进电机原理及 DSP 控制方法,进行了步进电机控制系统的硬件和软件设计,同时介绍了与工控机用户界面的通信。对于步进电机脉冲分配,采用了硬件实现的方法,并对步进电机的位置控制、步进电机的加减速控制,画出了流程图。此运动控制系统具有以下特点:(1)系统选用器件少,硬件结构简单。(2)整个控制系统稳定、可靠。(3)DSP 的中断处理速度高,计算速度快,DSP 作为嵌入式微处理器对步进电机进行控制,应用了其功能强大的事件管理器。对于 DSP 与工控机的通信,采用 PCI 接口编程实现,也可采用其他方式,如串、并口通信。本设计可应用经济型数控机床,如石材切削或雕刻等,由于面向的是 Windows 界面设计,相对于目前使用 DOS 操作界面的此类数控机床来说,工人的操作将变得简单易行。

参考文献:

[1]　王晓明,王玲. 电动机的 DSP 控制. 北京:北京航空航天出版社,2004.

[2]　万达淳,代作晓,华建文. 基于 DSP 的多路四相步进电机控制器的设计与实现. 科学技术与工程,2008,4(8):1994 - 1997.

[3]　李峻,李学全,胡德金. 步进电机的运动控制系统及其应用. 微特电机,2000,2(4):37 - 39.

[4]　尹勇,李宇. PCI 总线开发宝典. 北京:北京航空航天出版社,2005.

[5]　李仁定. 电机的微机控制. 北京:机械工业出版社,1999.10.

[6]　谭建成. 新编电机控制专用集成电路与应用. 北京:机械工业出版社,2005.

[7]　何平,李岳,徐小军. 基于 DSP 的步进电机高精度变速控制研究. 自动测量与控制,2007,11(26):86 - 89.

[8]　袁丽娟,王应海,朱力军. SM8954A 单片机在步进电机升降速控制中的应用. 电子技术,2008(6):50 - 51.

[9]　熊远生,钱苏翔,高金凤. 基于 DSP 的步进电机控制系统与上位机的串行通信设计. 机电工程,2004,9(21):17 - 21.

作者简介:张宝发(1976—),硕士研究生,研究领域为控制理论与控制工程。E-mail:cepgei2009@126.com