A-PDF Split DEMO : Purchase from www.A-PDF.com to remove the watermark

基于ARM的双CPU协调运动控制系统

卢冠军，严 义，赵健勇
（杭州电子科技大学 计算机学院，浙江 杭州 310018）

摘要： 针对单个嵌入式处理器硬件资源有限，难以满足多轴的同步运动控制和复杂的运动控制算法等问题，将多核处理技术应用到嵌入式运动控制系统中，提出了一种基于ARM的双CPU协调运动控制系统的设计方法。首先介绍了双CPU运动控制系统的结构组成，然后详细阐述了利用双CPU进行运动控制的实现过程，包括双CPU的任务分工、双CPU之间的数据交互方式及指令脉冲模式的切换方法，重点论述了采用通信方式实现内存共享的方法，以解决双CPU之间的数据交互问题；在分析系统结构的基础上，给出了一种三层架构式的程序设计思想；最后利用该方法设计了一种双CPU运动控制器，并通过实际应用对该运动控制系统进行了验证。研究结果表明，该运动控制系统功能完善、性能稳定、定位精确度高，具有较好的实际推广价值。

关键词： 运动控制系统；嵌入式系统；双CPU；ARM；多轴同步控制
中图分类号： TP368.1；TH39 **文献标志码：** A **文章编号：** 1001-4551(2012)08-0985-04

Motion coordination control system with dual CPU based on ARM

LU Guan-jun, YAN Yi, ZHAO Jian-yong
(College of Computer, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: As the hardware resource of single embedded CPU was very limited, it was hard to meet the requirements of multi-axis synchronization control and complex control algorithm. Aiming at the problem, multi-core processing technology was applied to the embedded motion control system, and design approach of motion coordination control system with dual CPU based on ARM was proposed. Firstly, the structure of the dual CPU motion control system was introduced. Then the realizing process of motion control with dual CPU was expounded, which contained tasks division in dual CPU, data communication between the two of the CPUs, and the method to change the mode of pluses. A method of sharing memory based communications was stressed, which solved the difficulty of data exchange between the two of the CPUs. Based on analysis of system structure, the programming method with the framework of three layers was presented. Finally, a motion controller with dual CPU was designed, which verified the feasibility of this system. The results indicate that the system has sound function, stable performance, highly accurate positioning and worth popularizing.

Key words: motion control system; embedded system; dual CPU; ARM; multi-axis synchronous control

0 引 言

在现代运动控制领域中，嵌入式运动系统已广泛应用于医疗、纺织、数控等高精度运动控制领域。针对不同的应用场合，其运动控制器的形式各异，但都要求其具有高精度、高可靠性、实时性好等特点，有的还要求能进行多轴的同步运动控制。控制系统性能的好坏直接影响到产品的品质和性能，因此，研究运动控制系统的结构设计具有重要的意义。

目前，国内外对嵌入式运动控制系统做了大量的研究工作，其系统结构主要有3类：第一类为基于嵌入式处理器的运动控制系统，如以ARM处理器为核心控制器的运动控制系统[1]；第二类为基于网络的分布式运动控制系统，如基于CAN或Profibus总线网络的运动控制系统[2-3]；第三类为基于PC机的运动控制系统，如CNC（数控机床）控制系统[4-5]。几类运动控制系统在不同的应用场合发挥着各自的优势。与另两类相比，第一类运动控制系统具有体积小、集成度高、成本低、稳定性高、实时性好等优点，但单个处理器的硬件资源和处理能力有限，对较为复杂的运动控制系统，

收稿日期： 2012-02-06
作者简介： 卢冠军（1987-），男，浙江东阳人，主要从事嵌入式系统方向的研究. E-mail：luguanj@163.com

往往需要采用多个嵌入式处理器。

多处理器的控制系统组合形式多样，如ARM与DSP的组合、ARM与FPGA的组合等[6-7]。该类控制系统的处理器之间的分工明确，ARM负责处理逻辑事务，DSP/FPGA负责运动控制，实现复杂的运动控制算法和多轴同步运动控制，处理器之间通过通信的方式传递数据和命令。但该类运动控制系统的运动反馈信息无法快速反应给负责逻辑事务处理单元，使得运动控制的实时性受到影响。

本研究提出一种基于ARM的双CPU嵌入式运动控制系统的设计方法，采用双CPU虚拟内存共享技术，通过双CPU之间数据、命令的有效对接，实现双CPU的协调运动控制，在减小单个CPU负担的前提下，实现复杂的运动控制算法和多轴的同步运动控制[8-9]。

1 系统架构

设计双CPU运动控制系统的关键在于分配好双CPU的硬件资源及协调两个CPU的关系，使其在充分利用现有资源的前提下，达到对多轴电机的高速、高精度的控制。

本研究提出的基于ARM的双CPU运动控制系统的结构框图如图1所示。

整个系统主要由四大模块组成：主控模块、运动驱动模块、输入输出模块和通信模块。其中，主控模块由双CPU及其最小系统构成，其核心处理器采用了TI公司的STM32F103ZCT6，主频为72 MHz，内部集成了PWM输出、CAN接口等，可方便地实现系统的各项功能；运动驱动模块中的驱动输出模块将PWM信号和方向信号进行转换，使信号满足电机驱动器的要求，反馈模块实现对电机正交信号的计数，从而确定电机运行的实际位置。

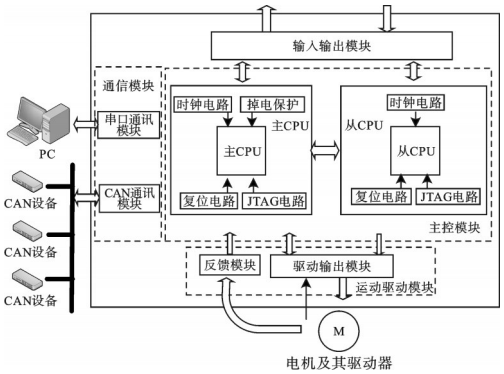


图1 系统结构框图

运动控制需要进行大量的复杂运算，由两个CPU共同完成：其中一个CPU控制电机指令脉冲的方向，另一个CPU完成电机运动速度的计算与指令脉冲信号（PWM信号）的输出。

2 双CPU的交互设计

双CPU的交互实现示意图如图2所示。

该运动控制系统的两个CPU采用主从控制模式。两个CPU通过虚拟内存的共享、命令的快速通道和PWM信号的反馈紧密联系在一起。通过双CPU并行处理，可以极大地提高系统的速度和处理能力。

主CPU实现运动反馈和逻辑控制，包括：接收外部输入信号；处理逻辑关系，进行逻辑判断；根据判断结果，输出信号给输出模块；处理通讯数据，包括异步串口通讯和CAN通讯；发送运动控制命令给从CPU，控制从CPU脉冲进给状态；接收从CPU发出的PWM脉冲并计数，据此判断当前运动所处的状态；接收来自运动设备发出的反馈信号，校正位置偏差。

从CPU实现运动控制输出，包括：通过中断接收运动命令、解析主CPU发出的命令和参数；根据运动参数进行插补运算；根据运算结果输出PWM脉冲。

整个运动控制系统的反馈为双闭环组合：从CPU的运动控制脉冲进给与主CPU计数器计数形成闭环组合；电机驱动器的Z相反馈与控制器的脉冲输出形成闭环组合。前者将从CPU当前脉冲发送状态实时地反馈给主CPU，主CPU根据当前脉冲发送状态进行逻辑判断与控制，实现了主CPU对从CPU脉冲进给状态的高速控制，并有效地减小了从CPU的运算负担，可以实现同时发送多路高速PWM脉冲信号时也能达到精确计数；后者保证了电机在实际运行过程中能够运动到位，提高控制器的控制精度。

双CPU交互设计的实现如图2所示。

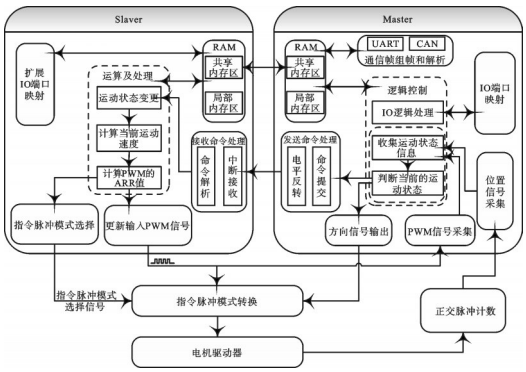


图2 双CPU交互设计的实现

主CPU在处理逻辑的过程中，若判断到有电机运动任务，用户设定初始速度、加速度、目标速度、减速度、目标运行点数等参数，主CPU将运动参数存储在虚拟内存区，并通过串口通信的方式，与从CPU共享这些运动参数。主CPU根据运动参数计算各个运动状态需要运行的点数；待数据共享完成后，主CPU进入准备运动的状态。

当主CPU接受到启动电机运动的命令后，主CPU通过快速命令通道将启动命令发给从CPU，从CPU通过中断方式接受启动命令，并改变从CPU当前的运动状态，根据运动参数计算PWM信号发送频率，并开始输出PWM信号。同时，主CPU实时采集PWM信号，根据采集到的运动信息判断当前从CPU运动状态，若需要改变运动状态则发送切换运动状态命令，改变从CPU脉冲进给状态。本研究通过电平反转变换来传递命令，可以让从CPU以最快的速度响应命令，改变运动状态。

实现双CPU交互的重点在于双CPU之间数据的交互。该设计采用共享虚拟内存技术，将本地内存分为两部分：局部内存区与虚拟内存区。局部内存区完成本CPU的工作，虚拟内存区完成双CPU之间数据交换工作。虚拟内存的共享通过232串口通信方式实现，其实现主要包括串口通信管理与数据帧处理。其串口通信管理由处理器硬件实现，在程序中只需对串口数据缓冲区进行读写操作及串口中断控制，其数据传输由硬件自动完成。串口通信采用主请求/从响应模式[10]，其数据帧格式如表1、表2所示。

表1　主站发送帧的格式

主站地址	功能码	数据起始地址	数据量	CRC校验

表2　从站发送帧的格式

从站地址	功能码	数据起始地址	应答数据	CRC校验

虚拟内存是指在双CPU内存区的同一地址段内开辟用于虚拟内存区的空间，当虚拟内存区内的数据发生改变时，就发起通信请求。

3　指令脉冲模式选择的设计

在运动控制领域中，对电机控制的指令脉冲类型主要有“指令脉冲+指令方式”和“CW脉冲+CCW脉冲”两种方式，其时序如图3(a)所示。

由于硬件的限制，对嵌入式处理器而言，只能通过特定的端口输出PWM脉冲。要实现“CW脉冲+CCW脉冲”形式的指令脉冲输出，在传统方式下实现1路电机输出需要占用2路定时器，而且在方向切换时需要通过程序对PWM的启动/停止发送时刻进行精确的计算，会产生较大的误差。

由于该系统的方向信号和PWM脉冲信号由不同的CPU产生，笔者主要通过数据选择器74LS153实现对指令脉冲模式的选择。74LS153高低电平切换的延时约为20 ns，可以承受50 MHz的高频率脉冲。本研究设定CPU输出PWM信号为$S1$；CPU输出的方向信号为$S2$；指令脉冲模式选择信号为K，K为0时表示选择的是“指令脉冲+指令方向”模式，K为1时表示选择的是“CW脉冲+CCW脉冲”模式；控制系统的A相输出记为$F1$，B相输出记为$F2$，数据选择器的输入、输出对应的真值表如表3所示。

表3　指令脉冲模式选择真值表

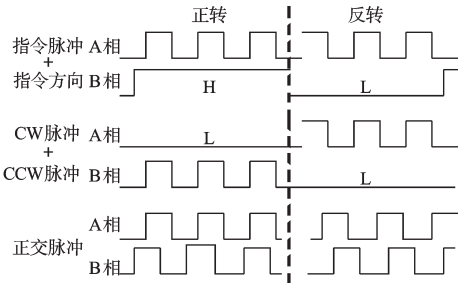
输入			输出		输入			输出	
模式选择	方向	脉冲	A相	B相	模式选择	方向	脉冲	A相	B相
K	$S2$	$S1$	$F1$	$F2$	K	$S2$	$S1$	$F1$	$F2$
0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	1	0	1	1	0
0	1	0	0	1	1	1	0	0	0
0	1	1	1	1	1	1	1	0	1

由表3可得：

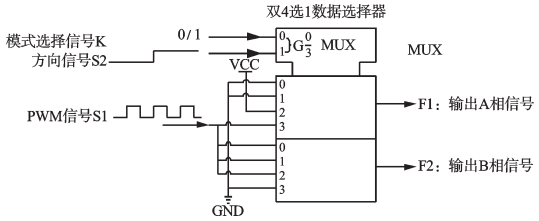
$$F1=\bar{K}\cdot\overline{S2}\cdot S1+\bar{K}\cdot S2\cdot S1+K\cdot\overline{S2}\cdot S1=\sum m(1,3,5) \quad (1)$$

$$F2=\bar{K}\cdot S2\cdot\overline{S1}+\bar{K}\cdot S2\cdot S1+K\cdot S2\cdot S1=\sum m(2,3,7) \quad (2)$$

由以上两式，经过卡诺图降维处理后，可得到的电路图如图3(b)所示。



(a) 指令脉冲模式时序图



(b) 指令脉冲模式选择的实现

图3　指令脉冲模式时序及模式选择的实现

图3(b)所示的$F1$与$F2$信号输出后经过光耦隔离与差分驱动芯片后，转换为电机驱动器所需要的信号。

4　程序实现方法

由于系统采用双CPU形式设计，对程序管理带来不便。该设计采用如图4所示的3层架构设计：引擎驱动层、逻辑控制层和用户界面层。其中：

(1) 引擎驱动层。主要实现硬件驱动、虚拟内存映射、通信管理和命令处理。硬件驱动主要包括PWM驱动输出、I/O驱动、电机方向控制及电机位置信息采集的处理等。该层为逻辑控制层提供对受控目标的接口。

(2) 逻辑控制层。主要完成逻辑关系处理及数据命令的接口封装。

(3) 用户界面层。主要实现用户与受控目标的交

互。该层可以有多种表现形式，如数控语言、图形界面等，用户界面层需要将数据和命令打包成符合逻辑控制层的格式。

该架构既相互独立，又紧密联系。通过层次化的设计，在程序设计时屏蔽外界因素的变化，将软件系统划分为独立的几层，如果内部发生变化，只要各层之间的接口不变，就不会影响到其他各层的程序。这不仅提高了软件的复用程度，而且方便移植。

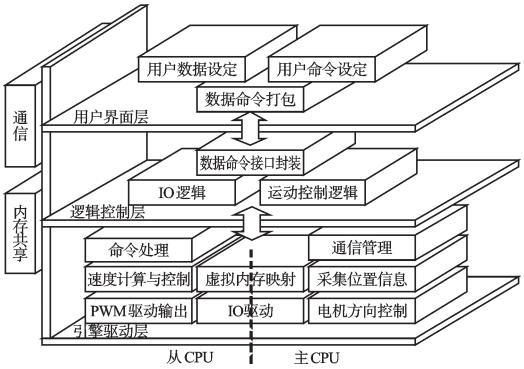
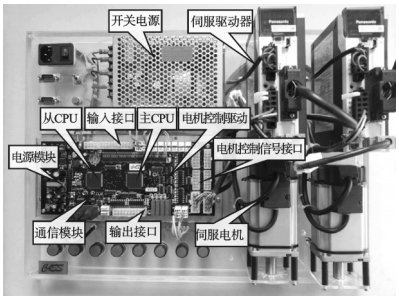


图4 分层架构程序设计

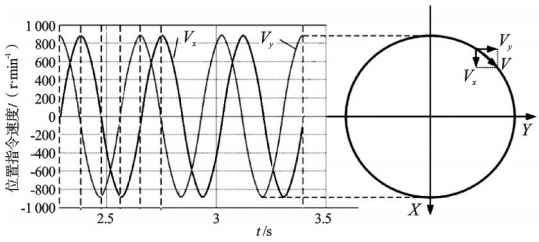
5 实 验

根据本研究的设计方法所设计出的基于ARM的双CPU运动控制器的实物图如图5(a)所示。

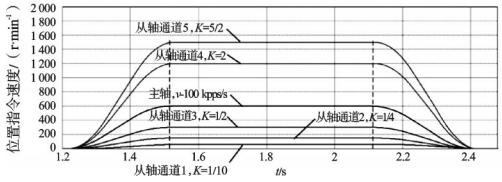
两轴同步运动控制，实现画圆的速度响应曲线如图5(b)所示。6路电机的同步运动控制，进行曲线运动的速度响应曲线如图5(c)所示，其中，比例系数K为从系数与主系数的比值。



(a) 控制器实物图



(b) 画圆速度响应曲线



(c) 6路同步运动曲线

图5 控制器实物及其实际运动速度曲线

实验结果表明，该设计方法实现的运动控制系统运行稳定，插补周期短，能够实现较复杂的运动控制算法，且多轴的同步运动控制性能良好。

6 结束语

目前，在嵌入式运动控制中，越来越多的系统采用多处理器的体系结构。本研究提出的双处理器协调控制的运动控制系统设计方法，通过双CPU的紧密合作与独立运作，实现了逻辑控制与运动控制的并行处理，极大地提高了控制系统的工作效率，并采用双反馈机制，为高精度运动控制提供了保障。

实验表明，利用该设计方法设计的系统运行稳定，使用效果好，具有较好的实际推广价值。

参考文献(References)：

[1] WU He-lei, CHEN Xue-qiang, HU Ling-yan. Embedded System of DC Motor Speed Control Based on ARM [C]// International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management. Guangzhou: [s.n.], 2008: 123-126.

[2] WANG Zhi-hong, CHEN Qing-wei, ZHANG Xiao-bo. Research on Multi-motor Synchronous System based on CAN [C]// 8th World Congress on Intelligent Control and Automation. Jinan: [s.n.], 2010: 4209-4214.

[3] ZHOU Yong, ZHANG Yu-feng, ZHOU Qi-xun, et al. A novel method for the control of multi-motor system based on embedded terminal [J]. **Procedia Engineering**, 2011, 24 (13): 219-225.

[4] WANG Mu-lan, WANG Bao-sheng, ZHU Xing-hua, et al. Development of FPGA-based arithmetic module in CNC system [C]//Mechatronic Science, Electric Engineering and Computer. Jilin: [s.n.], 2011: 494-497.

[5] 肖亮亮，李晓明. 基于CAN总线的多轴同步运动控制系统[J]. 机电工程，2009，16(10)：9-12

[6] LU Chang-hua, ZHANG Xiao-fei, SUN Qing-rong. Design of an Embedded Embroidery Machine Controller based on Dual Processors [C]//Advanced Computer Control, 2010 Control. Shenyang: [s.n.], 2010: 168-171.

[7] 万 林，唐厚君，贺 超，等. 基于ARM与FPGA的嵌入式开放性运动控制器的设计与开发[J]. 电气自动化，2011，33(3)：59-61.

[8] XIAO Yong, ZHU Kuan-yi, LIAW H C. Generalized synchronization control of multi-axis motion systems [J]. **Control Engineering Practice**, 2005, 13(7): 809-819.

[9] 陈友东，王田苗. 数控系统的直线和S形加减速研究[J]. 中国机械工程，2006，17(15)：1600-1604.

[10] 胥 军，方彦军. 嵌入式现场总线协议转换网关开发[J]. 计算机工程，2006，32(12)：255-257.

[编辑：李 辉]