

$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在数字化焊机控制系统中的应用*

李永宁, 杨 华, 陈国金

(杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:为提高焊机控制系统的稳定性和实时性,以数字信号处理器(DSP)为核心设计了硬件控制系统,并将 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式实时内核应用到控制系统的软件设计中。介绍了基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的控制系统结构,完成了 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在 TMS320LF2407A 上的移植,并根据焊机控制系统功能需求,创建了焊机应用任务,介绍了任务间通讯方法。最后利用脉宽调制(PWM)信号跟随试验证明,基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 数字化逆变焊机控制系统具有较高的可靠性。

关键词:数字化焊机; $\mu\text{C}/\text{OS-II}$; 实时; 多任务; 脉宽调制; 数字信号处理器

中图分类号: TH39; TP39

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2011)07-0828-04

Application of $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ in digital welder control system

LI Yong-ning, YANG Hua, CHEN Guo-jin

(School of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Aiming at improving the stability and real-time characteristics of welding control system, a hardware control system based on digital signal processor(DSP) was designed. The $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ embedded real-time kernel was applied in the control system software design, and it was transplanted to TMS320LF2407A. According to the system structure and functional requirements of the control system, welding application tasks were created and intertask communications were designed. Experiment results prove that this control system has high reliability.

Key words: digital welder; $\mu\text{C}/\text{OS-II}$; real-time; multi-task; pulse width modulation(PWM); digital signal processor(DSP)

0 引 言

焊接过程具有非线性、时变和不确定性的特点,传统的模拟控制很难在控制精度、速度和稳定性上满足现代焊接控制的要求,对数字化焊接系统的研究已经成为热点。同时,随着焊接电弧物理研究的深入和对焊接工艺要求的不断提高,焊接过程控制越来越复杂,实时性要求越来越高。在数字焊接控制系统中,如何高效率地进行各种工艺控制软件开发成为下一个难题^[1]。传统前后台软件系统效率低下,已无法适应高速的实时控制和多任务控制的要求。实时操作系统(RTOS, Real Time Operating System)可以将应用分解成多个任务,每个任务模块相对独立,可独立对其进行调试和修改而不会影响其他任务,这简化了应用系统软件的设计。RTOS 在整个系统中是上层控制算法和下

层的硬件系统的连接纽带。它的应用可以使底层的硬件发挥更大的作用,同时使上层的控制算法更容易实现,系统中的硬件层和软件层具有更好的继承性^[2]。

本研究设计了一种基于实时嵌入式操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的数字化焊机控制器,并通过实验和在 NB-500 型焊机上的应用验证了该系统运行的稳定性。

1 硬件平台及控制系统结构图

本研究所介绍的数字化控制系统研究主要针对 NB-500 型逆变弧焊焊机的控制。它采用 IGBT 器件构成逆变主回路,以 TMS320LF2407A 型 DSP 为核心构成数字化硬件控制电路,具有良好的人机界面。

控制系统结构如图 1 所示,整个系统由硬件层、操作系统(OS)层和应用软件层这三部分组成^[3-4]。硬件层是指以 DSP 为核心的硬件控制电路,包括控制电路

和焊接信号接口电路。OS 层由 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 内核和硬件接口程序构成,负责整个软件系统调度和运行。应用层是实际的功能任务,在焊机控制系统中主要由接口程序、事件管理程序、运算程序部分、中断处理程序等部分构成。

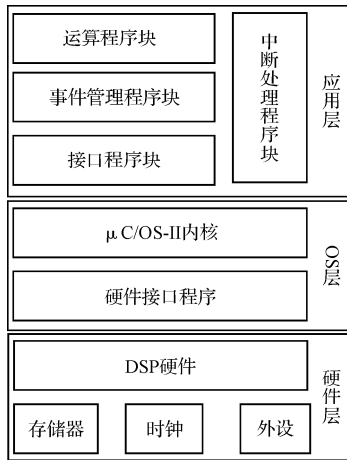


图 1 控制系统结构图

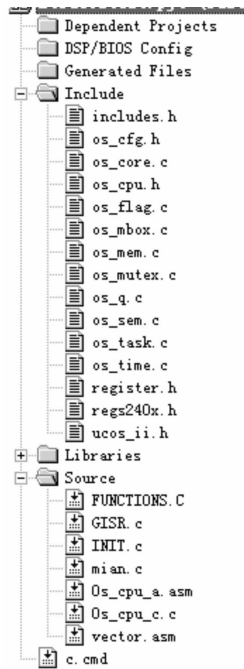


图 2 移植文件结构

2 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 在焊机控制系统中的应用

2.1 焊接领域使用 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的优点

首先, $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 能保证焊机的实时性。焊接控制系统需对焊机进行实时控制, $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 是可抢占的实时内核, 采用优先级机制, 能使紧急事件尽可能得到快捷有效的处理^[5]。

其次, $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 能提高系统稳定性和可靠性。焊接现场工况恶劣, 具有严重的电磁干扰。同时, 电路中强电、弱电交杂, 极易影响控制设备的稳定性。传统前后台编程模式下常常采用串行编程的方法设计软件, 程序之间的耦合度往往较高, 一旦系统遇到强干扰, 就会使程序运行出现异常, 甚至出错跑飞, 致使整个控制系统崩溃。 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 把整个控制程序分成多个任务, 每个任务拥有独立的堆栈和超时函数。达到超时时间后, 任务自动交出 CPU 的使用权。故当其中有一个任务出错时, 系统其他任务的运行不会受其影响, 整个系统的可靠性高。

最后, $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 能加快系统的开发升级。 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 采用任务形式并采用模块化设计, 能方便地添加或修改模块, 实现对焊机控制功能的改进或增加。此外, $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统将控制系统硬件底层的特性进行了封装, 应用程序可以方便地从一个型号的微处理器移植到另外一个型号中去, 已有的控制代码无需重写就可应用到新的系统中。这很好地保留了之前研发的成果, 解决了微处理器等硬件升级后带来的代码重写的问题, 加快了新产品的开发。

2.2 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的移植

在本研究中, $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 内核使用了 V2.67 版本, 使用 TI 公司的 CCS2.2 集成开发环境, 仿真器采用 Wintech 公司的 TDS510 JTAG Emulator。其移植文件结构如图 2 所示。

移植工作主要包括以下几部分内容^[6-7]：

(1) 修改工程头文件 INCLUDES.H, 在其中加入工程所需的头文件和链接文件, 如 #include "register.h" #include "stdlib.h" 等。

(2) 修改 OS_CFG.H, 根据实际项目需要裁减系统的内核, 减少内存消耗。

(3) 修改 OS_CPU.H, 声明 11 种数据类型和 4 个宏定义, 使操作系统内核的数据类型、堆栈宽度、堆栈生长方向、开关中断等和 2407A 的相统一。

(4) 修改 OS_CPU.C, 用 C 语言改写其中 6 个与操作系统相关的简单函数, 最主要的是改写 OSTaskStkInit() 函数。OSTaskStkInit() 函数是任务堆栈初始化的关键函数, 是移植的难点, 也是移植成功与否的关键函数之一。

(5) 修改 OS_CPU.A.SM, 用汇编语言改写 OSStartHighRdy(), OSCtxSw(), OSIntCtxSw(), OSTickISR() 这 4 个与 2407A 相关的函数。其功能是完成 3 种不同条件下任务的切换操作。

2.3 任务分配和管理

$\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 系统内核可以管理多达 64 个任务, 并从中保留了 4 个最高优先级和 4 个最低优先级的任务供自己使用, 所以用户可以使用的有 56 个任务。实时

内核是一种可剥夺型内核,即高优先级的任务一旦就绪,总能得到 CPU 的控制权。

在焊接任务分配时,必须根据焊机控制系统的控制要求和硬件电路的特性来确定。本研究合理分解系统控制功能,使每个任务能独立完成焊接过程控制要求的部分功能。在设计任务过程中,应尽量使任务内聚度高,任务间的耦合度低^[8]。

焊接控制软件总体运行流程为:在 $\text{main}()$ 主程序中对系统硬件初始化后,初始化 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 内核,之后建立应用层焊接任务,通过系统内核对任务进行调度。在焊接过程中,控制系统需要对焊接电压、电流和送丝速度等多个变量进行调节。在进行 CO_2 气体保护焊过程中,焊接过程需要经历引弧、燃弧和收弧 3 个阶段,不同的阶段对主电路的输出要求也不同,需采用不同的控制策略来控制输出。

根据焊机控制系统的功能要求,将控制系统的任务划分为以下 5 部分(各个任务优先级和运行状态如表 1 所示):

表 1 控制系统的任务划分

任务	优先级	运行状态
故障报警任务	5	信号量触发
采样任务	6	定时轮循
输出控制任务	7	信号量触发
通信任务 A	8	信号量触发
通信任务 B	10	信号量触发
人机界面任务	9	常驻

(1)故障报警任务。当保护电路检测到欠压、过流等故障信号时,立即禁止 DSP 的 PWM 信号输出,保护脆弱的 IGBT 器件。由于报警任务对实时性要求最高,一旦有故障就必须立即执行故障处理任务。故将此任务的优先级设为最高,即当异常状况发生时,任务立即取得 CPU 使用权,无条件运行报警任务。在正常情况下此任务是被挂起的,异常发生时通过信号量触发。

(2)采样任务。焊接过程中需实时采样检测主电路的输出电流电压值,一方面作为焊接过程判断的依据,另一方面作为焊机闭环控制的反馈,根据实际情况控制焊机的输出特性。它采用周期轮循的方式,通过事件管理器 A 中的定时器 2 产生的 $20\ \mu\text{s}$ 定时中断轮循。电压、电流信号经过采样调理电路后送入 2407A 片内的 ADC 外设进行模/数转换,得到数字量信号经数字滤波处理后存储在外扩的 RAM 中。这些数据一方面用于组建焊接专家知识库,另一方面通过信号量形式送给输出控制任务。

(3)输出控制任务。本研究将从采样任务得到的电压电流参数,送入专家 PID 控制器,通过采样信号与

专家知识库中的预设值相比较,根据预设的焊接控制规则推导出专家 PID 控制器的 K_p, K_i, K_T 的值,通过控制算法计算出所需输出的 PWM 信号。DSP 根据控制器的要求输出不同占空比的 PWM 信号,经驱动电路驱动后控制主电路中 IGBT 器件的通断时间比,最终达到调节输出的目的。系统期望每次都能通过采样任务中得到的参数微调焊机系统的输出,故在任务设计时,采用采样任务触发输出控制任务的通信机制。设置输出控制任务的优先级高于采样任务,利用系统内核的信号量等待函数 $\text{OSSemPend}()$ 将输出任务挂起,当采样到一个有效信号时,调用信号量发送函数 $\text{OSSemPost}()$ 发出一个信号量唤醒输出控制任务。

(4)通信任务。焊机进行焊接工作时需要与人机界面、送丝电路和上位 PC 机进行数据通讯。在 RS232 总线方式下,设计两个通讯任务 A、B。通讯任务 A:在 主控电路与送丝电路之间进行送丝速度、送气量和焊枪开关状态这 3 个信号量的通讯;通讯任务 B:用于 PC 机和 DSP 之间的通讯,实现对焊接数据库的更新和备份。它们之间采用互斥型信号量(mutex)用于对共享串口通讯资源进行独占式处理。

(5)人机界面任务。实现按键操作判断以及显示系统菜单和当前焊机工作参数的功能。本研究将它的优先级在这几个任务中设为最低。首先,其他任务通常情况下处于挂起状态,人机界面任务相当于常驻任务。其次,其他任务执行时间都很短,在毫秒和微秒级别,因此操作人员在实际操作中不会感觉到有操作不畅的状况。

另外,还有操作系统自带的空闲任务,当所有用户任务都不在运行态时执行^[9]。

3 试验

数字化焊机控制系统的核心工作就是根据焊机实时参数通过特定的控制策略控制主电路的输出特性。所移植的嵌入式实时操作系统和设计的任务必须首先得满足这一根本要求。由于主电路中 IGBT 器件昂贵且脆弱,同时主电路工作时有极大的电流产生,故在本研究中对控制电路采用脱机试验的方法。本研究将信号发生器接到控制系统的采样端,并设计一个信号跟随任务,DSP 输出采样到的 PWM 信号,通过驱动电路后输出。若控制系统能根据实时采样信号相应改变输出的 PWM 信号,则证明操作系统可正常运行。试验中信号发生器发出占空比为 42.5% 的 PWM 信号,驱动电路输出后通过示波器与信号发生器的信号一同送入到示波器中。由于驱动电路中对 IGBT 有 $5\ \mu\text{s}$ 死区时间设置,PWM 波形会有时延。

实际检测波形如图 3 所示。1 号线为驱动电路输出信号,纵向一格为 10 V,2 号线为信号发生器输出信号,纵向一格为 10 mV。横坐标一格为 50 μs 。

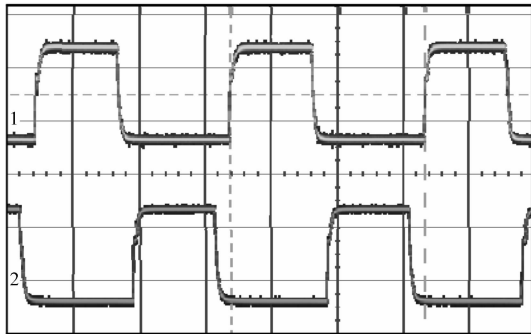


图 3 占空比为 42.5% 时实际驱动输出波形

从图中可以看到,应用 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的控制系统能准确根据采样信号控制 DSP 输出,能够满足各种焊接工艺要求。

4 结束语

本研究介绍了 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 嵌入式操作系统移植到 NB-500 型 CO_2 气体保护焊机控制系统中的方法并根据实际功能设计应用了实时任务,提高了控制系统的稳定性。通过实验测试,验证了控制系统的有效性。

[编辑:张翔]

嵌入式操作系统的应用,简化了编程过程,提高了开发效率,降低了研发成本,并为后续各种焊接工艺和智能控制算法的应用提供一个良好的软件平台。

参考文献 (References):

- [1] 殷树言,刘嘉. 数字化焊机发展趋势[J]. 现代制造, 2005(5):34-35.
- [2] 黄石生,何永,李阳. $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 及其在机器人焊接系统中的应用[J]. 电焊机,2005,35(6):6-8.
- [3] KOVACS-VAJNA Z M. Implementation of porting RTOS $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ to ARM[J]. **Computer Engineering**, 2000, 22(11):1266-1276.
- [4] STALLINGS W. *Operating Systems: Internals and Design Principles* [M]. America: Prentice Hall, 2004.
- [5] 陈文杰,陈善本,林涛. RTOS 在数字化焊接电源中的应用前景[J]. 电焊机,2004, 34(9):29-34.
- [6] LABROSSE J J. $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ The Real-Time Kernel [M]. R&D Technical Books, 1998.
- [7] LABROSSE J J. 嵌入式实时操作系统 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ [M]. 邵贝贝,译. 北京:北京航空航天大学出版社, 2003.
- [8] 钟汉如,郭建飞. 基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 无刷直流电机控制的研究[J]. 微计算机信息,2007,23(2):49-51.
- [9] 谢中赛,金志华,余世明. 基于 $\mu\text{C}/\text{OS-II}$ 的自动售货机控制系统[J]. 机械电子工程,2009,26(1):36-37.

[编辑:张翔]

(上接第 801 页)

(5) 为进一步减小能耗和热耦合,模块可使用半主动控制策略。输入热流变化时,不调节控制热流大小,而是通过自动改变模块的参数来稳定控制性能。 α 对模块控制性能影响较大,其自动调节也比较方便,因此采用对流换热系数作为关键参数的半主动控制策略可以进一步的应用以减小能耗和热耦合,这将是下一阶段的主要研究方向。

参考文献 (References):

- [1] WECK M. Reduction and compensation of thermal error in machine tools [J]. **Annals of CIRP**, 1995, 44(2):589-597.
- [2] 曹骏,胡佩俊,应济. 基于接触热阻的主轴热特性有限元分析[J]. 机电工程,2008,25(2):20-22.
- [3] 赵小林,易定秋. 微热管散热技术研究现状与发展趋势探析[J]. 湖南工业大学学报,2007,21(1):71-73.
- [4] LIU Wen-jun, PILEGGI L, ASHEGHI M, et al. An Electronic Packaging Design for Reduction of Thermal Interface Resistance [C]//Proceedings of the Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena and Emerging

Technologies in Electronic Systems, ITherm,2006:525-528.

- [5] MARUYAMA S, NINO E, RUOCCO G. Analysis of a thermoelectrical device for active heat transfer control [J]. **International Journal of Thermal Sciences**, 2001, 40(10):911-916.
- [6] 顾志桦. 基于复合材料的主动热流控制器的研究[D]. 杭州:浙江大学机械与能源工程学院,2006:20-90.
- [7] LEE C W, KIM S W. Ultra-precision stage for alignment of wafers in advanced microlithography [J]. **Precision Engineering**, 1997, 21(2-3):113-122.
- [8] 祝春华,王端阳. 碳纳米管材料导热性能的实验研究[J]. 广东化工,2007,34(8):5-9.
- [9] 杨世铭,陶文铨. 传热学[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,1998.
- [10] 阴继翔. 比拟法在《传热学》教学中的应用[J]. 太原理工大学学报,2001,19(3):64-66.
- [11] 陈振林,孙中泉. 半导体制冷器原理与应用[J]. 微电子技术,1999,27(5):63-65.
- [12] 沈军,马骏,刘伟强. 一种接触热阻的数值计算方法[J]. 上海航天,2002,19(4):33-36.

[编辑:张翔]