

基于 ARM9 和嵌入式 Linux 的注塑机机械手上位机控制器 *

何 洋, 项 基 *, 彭勇刚

(浙江大学 电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

摘要: 为配合三轴伺服注塑机机械手的操作控制, 将嵌入式技术应用到机械手上位机控制器的设计中。根据注塑机机械手人机交互的要求, 上位机控制器采用了 AT91RM9200 为硬件核心, 以嵌入式 Linux 为操作系统, 详细配置了 LCD 显示和触摸屏输入、键盘输入、以太网通信以及串口通信模块。试验结果表明, 该控制器运行安全可靠, 可以给其他同类型的工业控制器在设计方面提供一些参考。

关键词: 嵌入式 Linux; AT91RM9200; 驱动程序; 状态机; 通信协议

中图分类号: TM36; TP39; TH48

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)03-0297-05

Supervisory controller of injection molding machine manipulator based on ARM9 and embedded Linux

HE Yang, XIANG Ji, PENG Yong-gang

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In order to coordinate with the control of three-axis servo injection molding manipulator, the embedded technology was applied to the design of the supervisory controller. After the analysis of the actual man-machine interaction need of the manipulator controller, the AT91RM9200 was used as the hardware core and the embedded Linux was used as the operation system. It was composed of LCD display and touch screen input module, keyboard input module, serial communication module, Ethernet communication module and etc.. After tests, the results show that this supervisory controller is safe, reliable, and it could provide good reference in designing for other similar industrial controllers.

Key words: embedded Linux; AT91RM9200; drivers; state machine; communication protocol

0 引 言

随着现代生产技术的飞速发展, 在建筑、电器电子、汽车工业、石油化工、机械工业和国防工业等行业, 塑料制品有着其他产品所不可替代的重要地位。注塑机专用机械手是为注塑生产专门配备的自动化机械设备, 它可以按照生产实际的要求, 从模腔内取出塑料制品, 并输送或操持工具进行生产操作。注塑机机械手可以在改善劳动条件和安全生产, 及提高生

产效率、稳定产品质量、降低生产成本等方面起到巨大作用。

目前国外的注塑机机械手市场越来越成熟, 日本的有信(Yushi)、哈模(HARMO)、星塔(STAR)、松下(Panasonic)、奥地利的威猛(Wittmann)、德国的库卡(KUKA)在注塑机机械手领域相当知名, 但由于这些产品价格昂贵, 在国内中小企业中很少看到, 国内的机械手品牌主要有台湾的精锐(APEX)、香港的富井(Fujin)、浙江伟立(Max-robot)、广东天行(Alfa-robot)

收稿日期: 2011-10-24

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目(Y1110135); 浙江省教育厅科研资助项目(Y201009953)

作者简介: 何 洋(1987-), 男, 浙江杭州人, 主要从事注塑机机械手嵌入式系统方面的研究。E-mail: heyang721@163.com

通信联系人: 项 基, 男, 副教授, 硕士生导师。E-mail: eejiang@gmail.com

等等。国内注塑机机械手行业还处在稳步的发展期中,目前三轴或五轴伺服机械手以其较高的精度、可靠性和稳定性将逐步取代以往旋臂式或全气动行走式的机械手。

本研究主要介绍基于 ARM9 和嵌入式 Linux 的三轴伺服注塑机机械手的主机控制器的设计与实现。该上位机控制器就是为了三轴伺服注塑机机械手设计和开发的,将以嵌入式手持设备的形式呈现。

1 系统硬件选型与构架

作为手持设备,其至少包含以下部分:基本处理器部分、存储部分、人机接口以及外围扩展部分。其中人机接口具体是指 LCD 显示和触摸屏输入模块以及键盘输入模块;外围扩展具体是指与下位机的串口通信模块和与 PC 监控端的以太网通信模块。

注塑机机械手的工业制造环境对上位机控制器提出了比较高的技术要求:

- (1) 要求在电源干扰强的环境下能够正常工作;
- (2) 必须操作方便、体积小、成本低廉;
- (3) 能够长期稳定工作,易于维护。

根据以上的技术要求,本研究提出了 ARM9 加上嵌入式 Linux 的嵌入式平台设计方案,该方案可以作为嵌入式手持设备的二次开发平台。

作为目前嵌入式系统中应用最广泛的 32 位嵌入式处理器之一,ARM 处理器以其低成本、低功耗和高性能的优点成为了嵌入式解决方案的首选。Atmel 公司开发的基于 ARM920T 内核的 AT91RM9200 片内集成了以太网、EBI、MCI、SSC 和 SPI 等多种通信接口,200 MIPS 的处理速度和先进电源管理使这款芯片非常适合于系统控制和通信领域^[1-2]。

该上位机控制器采用嵌入式 Linux 操作系统和 AT91RM9200 作为软、硬件核心,本研究以三轴注塑机机械手上位机控制器为应用对象,重点研究了该上位机控制器各个功能模块在嵌入式 Linux 平台下的软件开发^[3-4]。

该系统的硬件结构主要包括 CPU 模块、外扩存储器模块、显示和触摸屏模块、键盘输入模块、串口通信模块、以太网通信模块、调试模块以及电源模块。其中,中央处理器 AT91RM9200 可以工作于 180 MHz,有着丰富的接口,内部集成了 16 KB SRAM,128 KB ROM 以及静态存储控制器、SDRAM 控制器、NAND Flash 控制器等多种控制器。该上位机控制器与下位机系统要通过串口进行通信,同时,下位机通过串口给上位机进行 +24 V 的直流供电。系统总体硬件框图如图 1 所示。

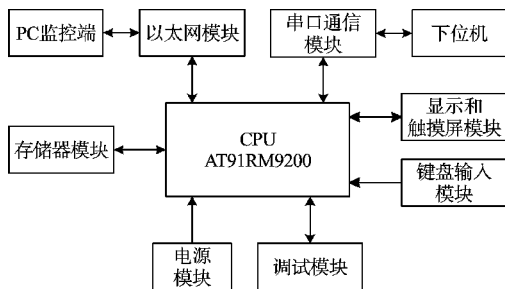


图 1 系统总体硬件框图

2 模块功能的应用与实现

三轴伺服注塑机机械手的主机系统软件主要由四大块功能模块构成,分别是:①LCD 显示和触摸屏模块,将机械手运行状态、操作模式等内容显示在液晶屏上,并响应来自触屏的信号;②键盘输入响应模块,响应不同动作键的处理和反馈;③以太网通信模块,跟 PC 监控端进行以太网通信,传输机械手运行的实时状态;④串口通信模块,跟下位机进行串口通信,保障控制命令和监控信息的正常传输。

2.1 LCD 显示和触摸屏模块

由于 AT91RM9200 没有针对 LCD 显示的控制,该系统添加了 EPSON S1D13506 作为显示控制器,来实现 LCD 的显示。S1D13506 是 EPSON 大规模显示控制器家族中以 S1D13504 为基础控制器发展起来的更新、更强大的 LCD 显示控制器^[5]。它共有 114 个寄存器,可以灵活地设置、匹配不同的显示模式,功能强大。S1D13506 支持最高为 16 位数据宽度的 LCD 接口,使用 FRM 和调谐技术,可以在 TFT LCD、CRT 和 TV 上最高显示 64 K 颜色。它配置一个 16 位内存接口,可以支持最高 2 MB 的 EDO-DRAM。

嵌入式手持设备既要考虑到应当便于手持的要求,又要考虑到显示视野应尽量大,所以 LCD 的大小规格定位在 5.6 寸左右,分辨率为 640×480 左右。群创 LCD 拥有较高的性价比,因此在业界得到了广泛的应用。该系统采用群创 AT056TN53 V.1 型号 LCD,5.6 寸,分辨率为 640×480,可视范围 112.896 mm (W)×84.672 mm(H),亮度达到 350 cd/m²,功耗仅为 1.6 W,提供 40 PIN 接口,很好地满足了设计需求。

Linux 操作系统为显示设备提供了帧缓冲区,这是一种驱动程序接口^[6]。它将显示缓冲区抽象出来,屏蔽了图像硬件底层的差异。上层应用软件只要对帧缓冲区进行读/写操作,再通过设备节点的访问,映射到虚拟地址空间,就可以直接反映在 LCD 上了。

本研究要把硬件设备抽象化为帧缓冲区设备(字符设备),需要指定 LCD 的帧缓冲区,在 linux/drivers/video/fb.h 文件中,结构体 fb_info 为帧缓冲设备定义

了驱动层接口。而对帧缓冲的所有操作都封装在 file_operations 这个结构体里面:

```
static struct file_operations fb_fops = {
    .owner =      THIS_MODULE,
    .read =       fb_read,
    .write =      fb_write,
    .ioctl =      fb_ioctl,
    .mmap =       fb_mmap,
    .open =       fb_open,
    .release =    fb_release,
};
```

其成员函数在 linux/drivers/video/fbmem.c 中定义,主要完成 LCD 寄存器的设置和缓冲区映射以及读/写操作。其中,read/write 操作相当于读/写屏幕缓冲区;mmap 映射操作将屏幕缓冲区的物理地址映射到用户空间的一段虚拟地址;ioctl 操作取得显示屏幕的各项参数。完成地址映射以后即可直接读/写屏幕缓冲区,进行图形显示了。

触摸屏控制使用 Burr-Brown 公司的 ADS7843 芯片。这是一款 4 线电阻触摸屏转换接口芯片,内部是具有同步串行接口的 12 位取样 A/D 转换器。在 Linux 操作系统中,触摸屏同样被视为一种字符设备,在 linux/drivers/input/ads7843.c 文件中,对 ADS7843 的所有操作也都封装在 file_operations 这个结构体里面:

```
static struct file_operations ads7843_fops = {
    owner:        THIS_MODULE,
    open:         ads7843_ts_open,
    read:         ads7843_ts_read,
    release:      ads7843_ts_release,
    poll:         ads7843_ts_poll,
};
```

其成员函数主要完成触摸屏设备的打开、关闭以及读取 X、Y 坐标等操作。本研究针对该驱动提供的接口编写用户应用程序,就能实现对触摸屏信号的控制。

2.2 键盘输入响应模块

本研究根据注塑机机械手的工艺要求、系统需要,配置 16 个输入按键,共分成 3 个类别:①手臂选择类按键:选择主臂、副臂或双臂;②手臂动作类按键:归零、横入、横出、上升、下降、前进和后退;③执行机构类按键:夹、夹放、吸、吸放、侧姿水平和侧姿垂直。

该系统采用了周立功的键盘接口芯片 ZLG7290,它最多可以采样 64 个按键或传感器^[7],可检测每个按键的连击次数,具有键盘去抖、双键互锁、连击处理和功能键处理等功能。ZLG7290 采用 I²C 总线方式通信,与 AT91RM9200 的接口仅需要 SDA 和 SCL 两根信号线即可。

由于键盘上按键所用的开关为机械开关,当机械触点断开、闭合时,由于机械接触点的弹性作用,一个按键开关在闭合时不会马上稳定地接通,在断开时也不会一下子断开。因而在闭合及断开的瞬间会有一连串的抖动,为了消除抖动带来的影响,必须进行按键消抖。常用的软件消抖有两种方式:①采用软件延时的方式,②采用状态机的方式。前者相对死板和固定,后者则要更加灵活易用。因此该系统采用状态机的方式进行按键消抖。

本研究用状态机进行按键消抖,设置状态机有 4 种状态,定义如下:

```
#define KEY_STATE_UP      1
//初始状态(无键按下),简称为 UP
#define KEY_STATE_DEBOUNCE 2
//消抖状态,简称为 DEBOUNCE
#define KEY_STATE_FREE    3
//释放询问状态,简称为 FREE
#define KEY_STATE_FREE_ACK 4
//释放确认状态,简称为 FREE_ACK
```

初始处于 UP 状态,当扫描发现有键按下时,转入 DEBOUNCE 状态,否则保持 UP 状态;处于 DEBOUNCE 状态,当扫描发现有键按下且键值等于 UP 状态下读到的键值时,转入 FREE 状态,同时根据键值执行相应的服务子程序,否则转入 UP 状态(即为扰动);处于 FREE 状态,当扫描发现有键按下且键值不等于 DEBOUNCE 状态下读到的键值时,转入 FREE_ACK 状态进行进一步判断,否则保持 FREE 状态;处于 FREE_ACK 状态,当扫描发现有键按下且键值不等于 DEBOUNCE 状态下读到的键值时,转入 UP 状态,一次按键结束,否则转入 FREE 状态,继续判断按键是否已经释放。相应的状态转移图如图 2 所示。

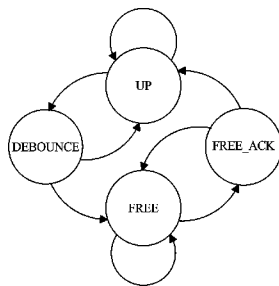


图2 按键消抖的状态转移图

2.3 以太网通信模块

注塑机机械手以太网通信协议是基于客户/服务器关系模型的一种面向连接的半双工 TCP 通信协议,使用 TCP 协议的 Socket 编程流程图如图 3 所示。

该协议提供有握手、数据传输校验、超时重传等机制。协议应用层分为两部分:一部分为客户端的请

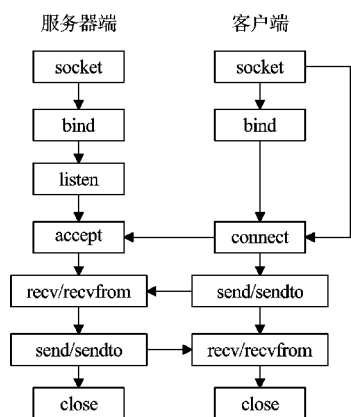


图 3 使用 TCP 协议 socket 编程流程图

求协议;一部分为服务器端的应答协议,每次会话请求由客户端发起,服务器处理客户端的请求,同时把所请求的数据或者错误状态传送给客户端。其中上位机系统端为服务器端,PC 监控端为客户端。

下面说明一下通信协议:

数据帧格式,由以下 3 个部分组成:

[帧头|协议体 DAT|负累加校验和(NS)]

格式说明:

(1) 帧头结构:

[特征字 SYN|长度 LEN|长度 LEN|特征字 SYN]

总共 4 字节,这里将特征字 SYN 规定为 68 H,LEN 为整帧数据的长度(包括校验和部分,不包括帧头);

(2) 负累加校验和 NS:1 个字节,为本帧数据除该字段外所有数据字节累加和的负值;

(3) 协议体 DAT:长度由帧头的长度字节指明,可以分为两部分:第一部分是客户端请求协议,客户端利用此协议向服务器请求数据;另外一部分是服务器的应答协议,服务器分析客户端的请求,然后发送该报文,响应客户端的要求。

各格式分述如下:

(1) 服务器应答协议报文格式:

[ACK|SRV|DATA(可选)]

(2) 客户端请求协议报文格式:

[SRV|DATA(可选)]

(3) 各字段含义:SRV 字段,客户端请求类别码,共 1 个字节,在服务器应答包中的 SRV 字段应该与客户端请求包中的 SRV 字段保持一致,请求类别包括:按钮释放请求、按钮按下请求、更改设定资料请求、读取模具资料请求、实时信息查询请求等;DATA 字段,传输数据字段,是在相应请求类别下传输的具体数据;ACK 字段,服务器应答类别,共 1 个字节,共有成功执行、命令错误、禁止请求和请求失败 4 种应答类型。

2.4 串口通信模块

该上位机控制器采用串口通信的方式与下位机

进行通信。AT91RM9200 提供了 4 个完全相同的全双工通用同步/异步收发器 USART。它们在片内与 APB 总线相连,并且每个 USART 都有 2 个用于收/发的外围数据控制器 PDC。USART 的操作主要可分为以下几个部分:数据发送、数据接收、产生中断、设置波特率、Loopback 模式、红外模式以及硬软件流控模式。

在 Linux 系统中,设备文件一般都位于/dev 目录下,其中串口 1 和串口 2 对应的设备名分别为/dev/ttyS0 和/dev/ttyS1。在 Linux 下对设备的操作方法如上文所示,都是相仿的,对串口的读/写就可以使用简单的 read()、write()函数来完成,所不同的是需要对串口的其他参数另行配置,这是通过设置结构体 struct termio 来完成的,在 linux/include/asm-arm/termios.h 中描述的该结构体的主要成员变量如下:

```

struct termio {
    unsigned short c_iflag;    //输入模式标志
    unsigned short c_oflag;    //输出模式标志
    unsigned short c_cflag;    //控制模式标志
    unsigned short c_lflag;    //本地模式标志
    unsigned char c_line;      //流控制
    unsigned char c_cc[NCC];   //控制字
};

```

本研究设置 c_cflag= B115200 | CRTSCTS | CS8 | CLOCAL | CREAD,波特率为 115 200 bps,使用硬件流控制,8 个传送数据位,本地连接,接收使能;设置 c_iflag &= ~(ICRNLIIGNCR),接收 CR(回车符)并且不将接收到的 CR(回车符)转换为 NL(换行符);设置 c_lflag &= ~(ICANON|ISIG),不启用规范模式,收到信号字符(INTR、QUIT 等),也不产生相应的信号;设置 c_cc[VMIN]=1,制定最小读取的字符数为 1;设置 c_cc[VTIME]=0,制定读取每个字符的等待时间为 0。设置完这些参数以后,就可以将串口当做文件来读/写了,使用 read()和 write()来完成串口数据的接收和发送。

上位机控制器的一切控制操作都要通过串口传递到下位机,下位机才能够执行机械手实际的动作,实现错误检测与报警等任务,因此这条控制通信链路显得尤为重要。在该通信链路中上位机系统端为客户端,下位机系统为服务器端。通信协议完全采用以太网通信的协议,下面针对注塑机机械手控制操作展开具体说明。客户端请求类别码如表 1 所示。

客户端在用户进行不同操作时发送相应的请求,如果成功,在服务器端执行相应操作,同时回应“OK”信号,操作失败则返回错误代码,错误码如表 2 所示。

如果用户执行的操作与机械手动作相关,那么客户端请求的报文中 DATA 字段为相应的动作按键码,动作按键码如表 3 所示。

表1 客户端请求类别码

SRV	功能说明
0	按键释放请求
1	按键按下请求
2	更改设定资料请求
3	读模具资料请求
4	实时信息查询请求
5	系统服务请求

表2 错误码

错误码	错误原因
0	无错误
1	等待开模完
2	安全门未关
3	达到设定模数
4	紧急停止
5	注塑机紧急停止
6	主臂上位信号无
7	副臂上位信号无
8	中板信号无

表3 动作按键码

键码	功能说明	键码	功能说明
0	无	10	侧姿垂直
1	上升	11	横入
2	下降	12	横出
3	前进	13	主臂
4	后退	14	副臂
5	夹	15	双臂
6	夹放	16	手动
7	吸	17	单循环
8	吸放	18	全自动
9	侧姿水平	19	归零

注塑机机械手的编程和菜单管理功能都由上位机控制器完成,下位机依据上位机传送的指令控制机械手完成相应运动。

根据机械手的操作流程,本研究设计了二级菜单管理软件,其程序流程图如图4所示^[8-10]。系统主要功能显示在第1级菜单中,包括运行状态、手动操作、I/O监视、参数修改和教导模式5种功能。运行状态中选择了需要的模组以后即可执行自动运行;手动操作中先选择控制对象(主臂、副臂、双臂、执行机构或者横行臂),然后根据用户输入执行动作;I/O监视中可以对所有的输入点或者输出点状态进行监视;参数修改中先选择需要修改的参数项目再进行修改和保存;教导模式中用户可以根据实际需求选择每一步的动作,最后将整个动作模式存储在控制器内,以便之后进行自动运行。

3 结束语

本研究以基于 ARM9 体系的 AT91RM9200 为核心芯片,配合嵌入式 Linux 操作系统,给出了三轴伺服

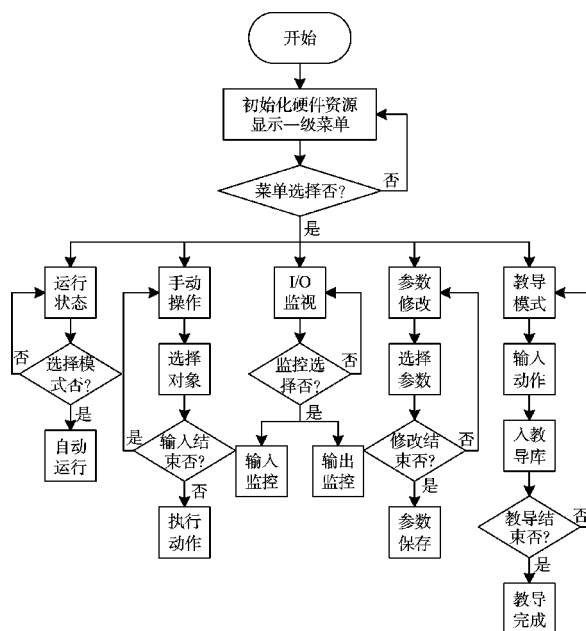


图4 程序流程图

注塑机机械手上位机控制器的设计与实现。阐述了系统硬件的构造,并详细展开描述了该上位机控制器下各个功能模块的设计重点和具体实现。经测试验证,该系统完全可以满足应用要求,能够与下位机和 PC 监控端良好地配合工作。这套基于 ARM9 和嵌入式 Linux 的整套上位机控制器实现了工业上的应用,同时也可以给予其他同类型的工业控制器在设计方面的一些参考。

参考文献(References):

- [1] 朱义君,杨育红,赵凯,等. AT91 系列 ARM 微控制器体系结构与开发实例[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [2] 许荣. 基于 AT91RM9200 嵌入式 Linux 系统移植[J]. 电子技术,2006(3):64-68.
- [3] 陈明义,王纬. 基于 AT91RM9200 的嵌入式 ARM 开发平台的实现[J]. 电子技术,2009,22(10):82-84.
- [4] 汪雪花,秦开宇. 基于 ARM+Linux2.6 内核的控制系统驱动设计[J]. 现代电子技术,2009(8):25-27.
- [5] 邓金龙,万频,周敏,等. LCD 控制器 S1D13506 在 AT91RM9200 嵌入式系统中的应用[J]. 微计算机信息,2006,22(9-2):136-138.
- [6] 李新峰,何广生,赵秀文. 基于 ARM9 的嵌入式 Linux 开发技术[M]. 北京:电子工业出版社,2008.
- [7] 闫效莺. 嵌入式 Linux 下键盘驱动的设计与实现[J]. 计算机应用,2010,29(3):28-31.
- [8] 戴钦来,马钧华. 基于 ARM 和 DSP 的多轴伺服系统以太网通信[J]. 轻工机械,2011,29(1):62-66.
- [9] 王龙. 基于注塑机的三伺服机械手的研究与开发[D]. 江门:五邑大学机电工程学院,2009.
- [10] 彭斐. 注塑机专用机械手控制器设计[J]. 机电工程,2006,23(2):16-19.

[编辑:张翔]