

# 基于 ARM 的多自由度控制装置研究

魏进松, 高凤岐, 王广龙

(军械工程学院, 河北 石家庄 050003)

**摘 要:**为满足微小型车辆和机器人控制实时性及功能扩展性的需求,设计了一种控制装置,能实现某小型履带式车前后行进、转向和天线升降、旋转等多个自由度的控制。文中分析了被控对象,提出控制装置的软硬件设计方案,以 ARM7 为微处理器,以  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  嵌入式实时操作系统为软件平台。介绍了微处理器模块、传感器模块、执行模块和遥控模块,实现了系统的 PID 控制算法及基于 MiniGUI 的图形用户界面程序开发。控制装置可满足对控制实时性和智能化的要求,具有操作灵活、界面友好、功耗低、体积小等特点,为小型车辆和机器人的控制系统设计提供了一种新颖的方法。

**关键词:**ARM; 多自由度; 控制装置;  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$

**中图分类号:**TP273

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2011)10-0206-04

## Design of a Multi-Degree of Freedom Controller Based on ARM

WEI Jin-song, GAO Feng-qi, WANG Guang-long

(Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China)

**Abstract:**To meet the demand of real time control and function extend of micro vehicle and robot, designed a multi-degree of freedom (DOF) controller, which can control DOF movements of a micro tracklayer. Studied the tracklayer and the scheme of hardware/software design is proposed. The controller was designed on the ARM7 MPU, and the platform of the software is  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  embedded RTOS. Introduced the MPU module, the sensor module, the implementation module and the remote control module. In this paper, PID arithmetic was realized. Developed the program for GUI (graphical user interface) based on MiniGUI. This controller can meet the real time and intelligent control and it has the advantages of flexible operating, friendly interface, low power, small cubage and so on. Provides a new scheme for DOF control system design of micro vehicle and robot.

**Key words:**ARM; Multi-DOF; Control Device;  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$

## 0 引言

由于在军用和民用领域的应用越来越广泛,微小型车辆和机器人成为研究的热点。但是微小型的设备对系统硬件的体积和集成度有很高要求,而且有限的体积会使系统的运算能力和通信能力都受到限制<sup>[1]</sup>。由于其硬件多是专用的,操作系统多是非实时性的,所以在系统开放性和软件实时性、独立性等方面受到很大制约<sup>[2]</sup>。因此,如何保证微小型设备控制装置的性能,并能实现控制系统的实时性和功能的可扩展性成为迫切需要解决的问题<sup>[3]</sup>。

采用嵌入式开发技术,为一小型履带式车构建一个以 ARM 微处理器为控制核心,  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  为软件平台的实时控制装置<sup>[4]</sup>。该装置包括微处理器模块、传

感器模块、遥控模块以及执行模块。由于嵌入式微处理器具有强大的运算能力和丰富的片上资源,能够很好地支持功能的扩展,结合嵌入式实时操作系统,配置多种传感器,可实现小型履带式车天线升降、旋转,前后行进、转向等多个自由度的实时测量及控制<sup>[5]</sup>。

## 1 被控对象分析

被控对象主要由底盘、设备舱和转塔三部分构成。控制装置主要安装在设备舱,转塔上为天线、图像传感器等,还可以根据需求增加器件扩展其他功能。

该小型履带式车的控制装置需要采集的参数如下:位置传感器获取天线的位置参数;三轴磁阻传感器获取方位信息;三轴加速度传感器获取运动信息,通过解算获得车体的方位角、偏航角和滚转角等状态参数。

控制装置利用传感器和执行机构完成与外界环境参数的交互<sup>[6]</sup>,根据外界环境和车体的状态对其进行实时控制,如遇到障碍物,可以采取相应的规避措施,调整前进的速度和方向,确保其越障和避障能力。

收稿日期:2011-03-27;修回日期:2011-07-11

基金项目:总装备部某型装备维修训练系统项目(2009)

作者简介:魏进松(1986-),男,河北保定人,硕士研究生,主要从事现代测控技术与系统的研究;高凤岐,硕士,副教授,主要从事自动测试技术与系统的研究。

## 2 硬件设计方案

通过分析被控对象,确定该控制装置为一种以基于 ARM 微处理器的嵌入式系统为硬件基础,采用  $\mu C/OS-II$  实时操作系统为软件基础的 control 平台,要实现在 100 ~ 1000 m 的范围内对小型履带式车遥控操作。

### 2.1 控制装置总体结构

系统的硬件设计坚持模块化和易扩展的思想,本嵌入式控制装置的总体结构包括以下几个部分:微处理器模块、传感器模块、执行模块和遥控模块,总体结构如图 1 所示。

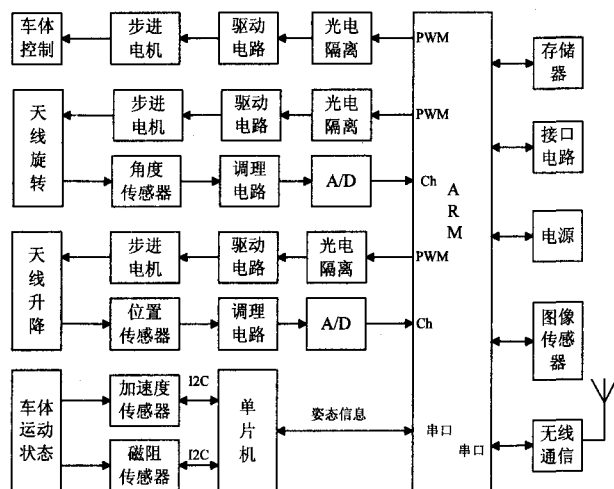


图 1 控制装置结构框图

**微处理器模块:**系统的核心部分,主要由 ARM 微处理器、电源和存储器以及各种接口电路等组成,构成了一个最小嵌入式系统。微处理器模块全面协调控制整个控制装置的各项工作并通过无线通信与遥控模块接收和发送指令,分析运算后控制小型履带式车的多自由度的运动。

**传感器模块:**由位置传感器、三轴加速度传感器、三轴磁阻传感器、角度传感器和图像传感器等组成。实时检测小型履带式车的加速度、滚转、俯仰、旋转和图像等信息,将其传输给微处理器,通过解算对车体的运动状态做出实时监控和判断,为实现多自由度的实时控制提供原始信息。

**执行模块:**主要由步进电机、驱动电路和传动装置等构成,在微处理器模块的时序控制下为小型履带式车的多自由度运动提供驱动力,并向微处理器模块提供反馈信息,实现闭环控制。

**遥控模块:**主要由信号处理、无线通信、指令输入和显示等单元组成。它通过无线通信接收微处理器模块发出的各种信号,并在显示单元上显示,方便操作者了解被控对象的状态信息和周围环境;发出控制指令,经无线通信传输给微处理器模块进行分析处理,实现

在 100 ~ 1000 m 的范围内对小型履带式车进行有效控制<sup>[5,7]</sup>。遥控模块如图 2 所示。

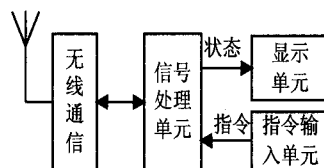


图 2 遥控模块结构图

### 2.2 信息流状态图

控制装置主要模块之间的信息传递流程图如图 3 所示。

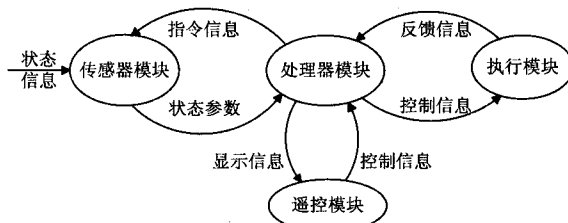


图 3 系统信息流程图

传感器模块与微处理器模块之间的信息传递:传感器内部集成信号处理单元,用于接收微处理器发送的指令并根据指令读取相应的传感器参数,然后返回相关参数(位置、角度、加速度等)。

微处理器模块与电机之间的信息传递:微处理器与电机的通信是通过串口发送一系列包含控制和状态信息的数据来实现的。电机内集成信号处理单元、功率放大器、光电编码器等,信号处理单元用于接收和处理微处理器的指令信息,产生 PWM 电机转动信号,读取电机当前位置、状态、负载等信息,并将状态信息返回微处理器。

遥控模块与微处理器模块之间通过无线通信单元进行信息传递:由微处理器模块传输给遥控模块的,是需要显示给操作人员的一些小型履带式车的状态信息以及周围环境信息;遥控模块传输给微处理器模块的,是操作人员对小型履带式车的运动下达的操作命令。

## 3 控制算法

该控制装置采用数字 PID(比例、积分、微分)控制算法。PID 控制是以经典控制理论为基础的控制策略,其结构简单、稳定性好、工作可靠、调整方便、不需要精确的系统模型,是应用最广泛的控制器<sup>[8]</sup>。

连续控制系统采用的 PID 控制规律为<sup>[8]</sup>:

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

其中:  $u(t)$  为控制器输出;  $e(t)$  为控制器输入偏差,为控制器设定值和测量值之差;  $K_p$  为比例放大倍数;  $T_i$  为积分时间常数;  $T_d$  为微分时间常数。

数字 PID 控制是一种采样控制,它只能根据采样时刻的偏差计算控制量,因此式(1)中的积分和微分项不能直接使用,需要进行离散化处理。处理后表达式为:

$$u(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{j=0}^k e(j) + K_d [e(k) - e(k-1)] \quad (2)$$

式中  $u(k)$  是第  $K$  次采样时的微处理器输出值,  $e(k)$  是第  $K$  次采样的时输入的偏差值,  $e(k-1)$  是第  $(k-1)$  次采样时的输入偏差值,  $K_i = K_p T / T_i$  为积分系数,  $K_d = K_p T_d / T$  为微分系数,  $T$  是采样周期。

比例(P)控制器的输出与输入偏差信号成比例变化,系统反应快速、控制及时,但同时会使控制系统输出存在稳态误差;积分(I)控制器的输出与输入的偏差信号的积分成正比关系,有消除稳态误差的作用;微分(D)控制器的输出与输入偏差信号的微分成正比关系,它能预测偏差变化的趋势,提前产生控制作用,从而避免被控变量的严重超调<sup>[9]</sup>。

数字 PID 控制器的系统原理图如图 4 所示。

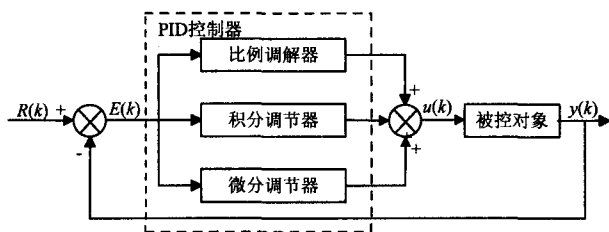


图 4 数字 PID 控制器系统原理框图

数字 PID 是连续系统 PID 控制规律的数字实现。对于有特殊控制要求或者复杂对象特性的系统,需要从控制对象特性出发,运用系统控制理论来设计相应的控制算法。在计算机控制系统中 PID 控制算法很容易通过编制计算机语言实现。由于软件的灵活性, PID 算法还可以进行修正和完善,从而使数字 PID 具有很大的灵活性和适应性。

本小型履带式车采用闭环控制,由 PID 控制器调节,其输入量为目标速度值与当前速度值的差值,目标速度根据当前的路况信息以及小型履带式车的状态信息确定, PID 调节器的输出即为与行进电机转速成比例的数值,通过 PID 算法得到控制量,得到与所需速度相对应的 PWM 脉宽信号。最后通过 PWM 方式驱动电机以实现闭环控制。

两个电机分别带动小型履带式车的左右两条履带。电机的参数包括电机的位置、转速、转向和负载等,当小型履带式车前进时两个电机进行同相位转向,保证其良好的操作稳定性,即横向的运动特性;转弯时,两个电机进行反相位转向,可以减小小型履带式车的转弯半径,提高其机动灵活性。

天线的升降和旋转各由一台电机控制,微处理器根据从位置传感器和角度传感器得到天线位置和角度的信息,分析运算后调节其升降和旋转。

## 4 控制装置的程序设计

### 4.1 实时操作系统特点

该控制装置的操作系统采用嵌入式实时操作系统  $\mu C/OS-II$ ,  $\mu C/OS-II$  是一个具备现代操作系统特点的 RTOS,它因为具有小内核、可移植性、可裁减、可剥夺性、多任务、中断管理、公开源代码、可固化、提供很多系统服务、稳定性和可靠性强等特点,可以满足对控制实时性和多任务性的要求<sup>[10]</sup>。为该控制装置移入一个实时操作系统后,一些需要被及时处理的信息,可以得到尽可能快的处理,能极大提高该控制装置的实时响应能力,最大程度地提高微处理器的利用率,同时也有利于提高控制的稳定性和可靠性,并且使程序开发更加容易,维护维护也更加方便。

$\mu C/OS-II$  作为一种多任务操作系统可以同时管理 64 个系统任务。将整个控制装置的应用程序分成多个并行的任务,使这些任务处于并行运行的工作状态,通过  $\mu C/OS-II$  操作系统来对各个任务进行调度和切换。

### 4.2 图形用户界面编程

图形用户界面支持系统就是提供图形用户接口 (GUI) 的程序集合,一般也称作 GUI 系统。MiniGUI 建立在比较成熟的图形引擎之上,开发的重点在于窗口系统。它具有占用资源少、高性能、高可靠性和可配置的优点<sup>[11]</sup>。在  $\mu C/OS-II$  实时操作系统上运行 MiniGUI,使得带有图形显示设备的、基于  $\mu C/OS-II$  的应用程序可以实现友好的图形界面。要在目标板上运行“MiniGUI for  $\mu C/OS-II$ ”应用程序,首先要使用宿主机对 MiniGUI 的源代码进行交叉编译,生成 MiniGUI 静态库文件;然后修改相关配置文件并将程序运行所需的库文件和配置文件等添加到嵌入式目标板的 ADS 工程中。最后编写应用程序,通过 ADS 生成目标文件 (\*.bin),下载到目标板并运行。

### 4.3 控制装置软件设计

控制装置的软件开发采用“宿主机—目标机”的方式,开发工具由仿真器和开发软件组成,编程所用 C 语言和汇编语言。系统启动后首先进行初始化,然后启动扫描任务。如果这时遥控模块有控制指令发出,扫描任务就会进行任务调度,把任务按照事先排好的优先级顺序传给 ARM 微处理器。当微处理器扫描到天线的升降任务时会先判断是否有升降天线的指令,如果没有,系统返回继续扫描其他任务,如果有则调用控制天线升降的任务,分析指令,判别升降及其程

度,然后向相关的电机驱动电路发出计算好的 PWM 波,控制电机的旋转,实现天线升降。天线的旋转控制、小型履带车加减速和转向的控制与天线升降的软件控制流程相似。

该装置主要控制功能设计的软件控制流程图如图 5 所示。

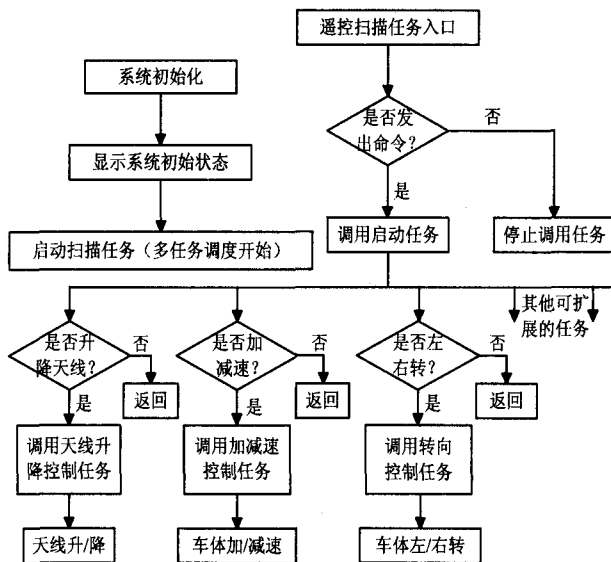


图 5 系统软件控制流程

## 5 结束语

采用嵌入式控制技术,选用 ARM7 系列微处理器作为智能核心,为某小型履带式车设计了一种控制装置。文中对该控制装置进行了模块化设计,提出了整体设计方案。该控制装置可成为一种控制实时性强,功能可扩展,稳定性好,准确性高的控制平台,通过扩展其他功能模块可以使该系统具有更多功能,可实现狭窄区域侦察和大面积探测等相对复杂环境下对控制

和功能的要求,在军事、矿业等方面具有重要的研究意义和实用价值。

## 参考文献:

- [1] 郑嫦娥,黄强,黄远灿. 微小型自主侦察机器人控制系统设计[J]. 微计算机信息, 2008(9):6-9.
- [2] 杨杰,刘锋,张义超,等. 基于工程化流程的一种嵌入式系统开发方法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(12):105-108.
- [3] Wang Yibing, Han Zengjin. Stability of an automated vehicle platoon[C]//Proceedings of American Control Conference. [s. l.]:[s. n.], 1998:950-954.
- [4] Zhang Jinxue, Zhang Ming. Research and Design of Embedded Tank Car Monitoring System Based On ARM9[C]//The 2nd ISCID. [s. l.]:[s. n.], 2009:292-295.
- [5] 段智文,陈惠. 基于 ARM 微控制器的无线随动控制系统[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(7):1560-1562.
- [6] 董宗祥,石红瑞,杨杰. 嵌入式智能小车测控系统的设计与实现[J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(2):357-360.
- [7] Borenstein J, Everett H R, Feng L. Mobile Robot Positioning Sensors and Techniques[J]. IEEE Journal of Robotie Systems: Special Issue on Mobile Robots, 2001, 14(4):231-249.
- [8] 朱喜娜,陆达,范汉青. 基于 BP 算法 PID 控制器的研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(5):183-186.
- [9] Qu Ligu, Huang Yourui, Ling Liuyi. Design and Implementation of Intelligent PID Controller based on FPGA[C]//The 4th ICNC. [s. l.]:[s. n.], 2008:511-515.
- [10] 李江乐,宗容,裴以建,等. S3C44B0X 的  $\mu C/O S-II$  移植技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(8):134-137.
- [11] 任强,彭瑞. 嵌入式 Linux 下 MiniGUI 的编译、移植与实现[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(3):13-16.

(上接第 205 页)

- 建模与仿真[J]. 沈阳工业学院学报, 2002, 21(4):12-16.
- [4] 肖田元,范文慧. 基于 HLA 的一体化协同设计、仿真、优化平台[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(13):3542-3547.
- [5] Xu Wenfu, Liu Yu, Liang Bin. Unified multi-domain modeling and simulation of space robot for capturing a moving target[J]. Multibody System Dynamics, 2010, 23:293-331.
- [6] Schiehlen W. Research trends in multibody system dynamics[J]. Multibody Syst. Dyn, 2007, 18:3-13.
- [7] Shi Pengfei, Mcphee J. Dynamics of Flexible Multibody Systems Using Virtual Work and Linear Graph Theory[J]. Multibody System Dynamics, 2000, 4(4):355-381.
- [8] Mcphee J, Shi Pengfei. Dynamics of multibody systems using

virtual work and symbolic programming[J]. Math. Comput. Model. Dyn. Syst., 2002, 8(2):137-155.

- [9] 汤新舟. 永磁同步电机的矢量控制系统[D]. 杭州:浙江大学, 2006.
- [10] 赵建军,丁建完,周凡利. Modelica 语言及其多领域统一建模与仿真机理[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(2):570-573.
- [11] Kral C, Haumer A. Modelica libraries for dc machines, three phase and polyphase machines[C]//Proceedings of the 4th International Modelica Conference. Hamburg:[s. n.], 2005:549-558.
- [12] 叶金虎. 现代无刷直流永磁电动机的原理和设计[M]. 北京:科学出版社, 2007.