

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.08.021

# 基于DSP和nRF24L01的无线直流 伺服电机控制器设计

黄齐敏, 赵转萍, 龚 醒

(南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016)

**摘要:** 针对自定心三爪测头尾端的线芯数较多, 电缆比较粗和硬的问题, 将无线控制直流伺服电机的技术应用到系统中, 提出了一种基于DSP和nRF24L01的无线控制直流伺服电机的方法。该系统的主控制芯片选用TMS320F2808, 无线通信模块选用nRF24L01, 电机驱动部分采用驱动芯片+MOS管形式, 驱动芯片选用IR2130, MOS管选用IRFU3806。论述了系统各硬件模块的选择方案, 给出了部分的软件设计, 包括无线发射与接收的程序流程图, 以及PWM、QEP、ADC的初始化程序。最终设计了一长条形无线直流伺服电机驱动器放在测头内部, 从而减少了测头尾端的线芯数, 提高了测量精度和测量操作的便捷性。研究结果表明, 通过采用直流伺服电机的电流控制模式, 能实现测头三爪平稳地伸出与收回, 测头电机运行平稳可靠。

**关键词:** DSP; nRF24L01; 直流伺服电机

**中图分类号:** TH39; TH124 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1001-4551(2014)08-1058-05

## Design of wireless DC servo controllers based on DSP and nRF24L01

HUANG Qi-min, ZHAO Zhuan-ping, GONG Xing

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics,  
Nanjing 210016, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of the large number of cores, thick and hard cable about the three-jaw self-centering probe, the technology of controlling DC servo motor through wireless was investigated. A method was presented to control DC servo motor through wireless based on DSP (Digital Signal Processor) and nRF24L01. The TMS320F2808 was selected as the main control chip. The nRF24L01 was selected as the module of wireless communication. The form of driver chips+MOS tube was used as motor driver's part, the driver chips IR2130 was selected, the MOS tube IRFU3806 was selected. The options about how to design the hardware circuit was discussed, and some software designs were given, the flow chart about transmission and reception and the initialization procedure about PWM, QEP and ADC were given. A long trip of wireless DC servo motor driver inside the probe was designed, thus the number of cores about the probe was decreased, the accuracy and operation about the measurement were improved. The results indicate that the DC servo motor uses the current control mode, the three-jaw can extend and retake smoothly, the motor of the probe runs smoothly and reliably.

**Key words:** digital signal processor(DSP); nRF24L01; DC servo motor

## 0 引 言

大距离分布孔系具有孔径小、孔数多、相邻孔间距小的特点, 研究者用一般的测量同轴度的方法很难实现快速测量, 同时也不能达到较高的测量精度。针

对大距离分布孔系的这些特点, 本研究设计一个自定心综合测量系统。测头采用直流伺服电机通过联轴器与螺杆螺套相连, 推动锥形杆将三爪顶出, 通过直流伺服电机输出的脉冲数, 从而完成孔径测量。测头前端装有二维位置传感器(position sensitive device, PSD), PSD可以采集到基准激光束光斑在PSD坐标系里位置

收稿日期: 2013-10-18

作者简介: 黄齐敏(1988-), 男, 湖北汉川人, 主要从事计算机辅助测控方面的研究. E-mail: hqm0700@163.com



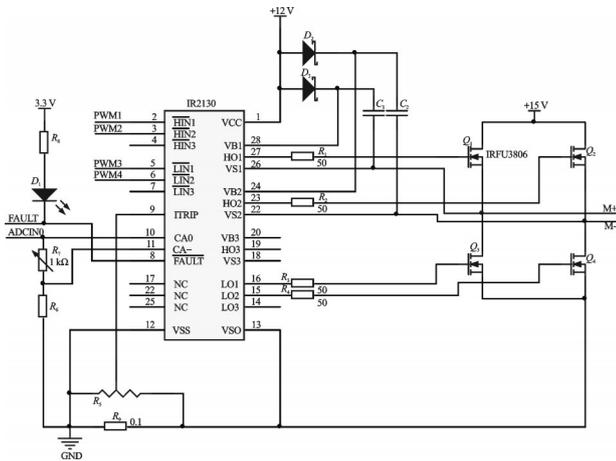


图2 直流伺服电机驱动电路

电路的4个功率开关器件,IR2130具有电流放大和过电流保护功能,同时关断4路输出,自动产生上、下侧驱动所必须的死区时间(2.5 μs),具有欠压锁定功能并能及时关断4路输出。DSP的EV事件管理器能产生2对全比较单元产生的死区可编程PWM信号,保证PWM1与PWM2、PWM3与PWM4互补,当PWM1与PWM4为高电平,即PWM2与PWM3为低电平,此时Q<sub>1</sub>与Q<sub>4</sub>打开,Q<sub>2</sub>与Q<sub>3</sub>截止,电机正转,反之,电机反转<sup>[8]</sup>。

## 2 软件设计

上位机DSP程序主要包括初始化、无线发射、无线接收、串口通信等部分;下位机DSP程序主要包括初始化、无线发射、无线接收、PWM初始化、QEP初始化、ADC初始化等部分<sup>[9]</sup>。

### 2.1 无线发射部分

本研究将接收机的地址和要发送的数据按时序送入nRF24L01,设置CONFIG寄存器,使nRF24L01进入发送模式,将CE置高10 μs以上,给射频前端供电,将射频数据打包(加字头、CRC校验码),高速发射数据包,发射完成,nRF24L01进入空闲状态。无线发射程序流程图如图3所示。

### 2.2 无线接收部分

本研究设置接收地址和数据包大小,设置CONFIG寄存器,使nRF24L01进入接收模式,将CE置高130 μs,使nRF24L01进入等待状态,等待数据到来,检验地址和CRC校验码,nRF24L01将字头、地址和CRC校验位移走,STATUS寄存器的RX\_DR置位通知DSP,DSP把数据从nRF24L01读出,读完数据之后清除标志位,nRF24L01进入下一个模式。无线接收程序流程图如图4所示。

### 2.3 PWM初始化

PWM驱动模块主要利用F2808的ePWM通道:

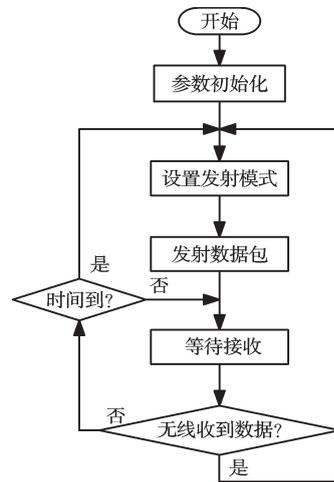


图3 无线发送程序流程图

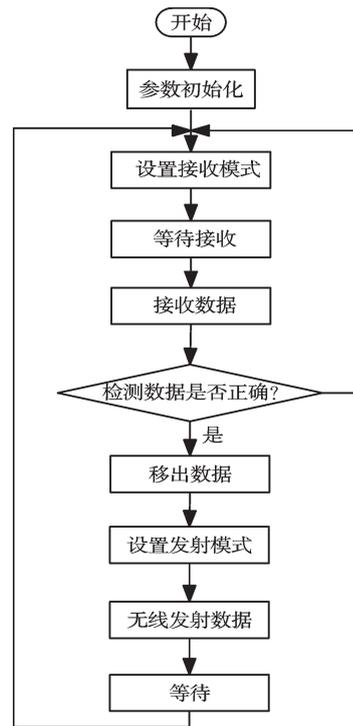


图4 无线接收程序流程图

ePWMxA和ePWMxB。ePWM模块主要包含以下子模块:时基子模块、计数器比较子模块、动作限定子模块、死区生产子模块、PWM输出断路器子模块、TZ(Trip-Zone)子模块、时间触发子模块。本研究选取ePWMxA的配置方式为双边对称操作的两组独立的PWM输出方式。设置PWM信号的频率是10 kHz,则需要设置TBPRD时基周期寄存器的值为2 499。通过改变计数比较寄存器的值,就可以生成任意占空比要求的PWM信号,达到调速的目的<sup>[10]</sup>。有关设置如下:

```
void PWM_Init()
{
    EALLOW;
    SysCtrlRegs.PCLKCR0.bit.TBCLKSYNC=0;
```

```

EDIS;
EPWM1Regs.TBCTL.bit.SYNCOSEL=0x0;
EPWM1Regs.TBCTL.bit.PHSEN=0x0;
EPWM1Regs.TBPHS.all=0;
EPWM1Regs.TBPRD=2499;
EPWM1Regs.TBCTL.bit.CTRMODE=0x0;
EPWM1Regs.TBCTR=0;
EPWM1Regs.TBCTL.bit.HSPCLKDIV=0x0;
EPWM1Regs.TBCTL.bit.CLKDIV=0x0;
EPWM1Regs.ETSEL.bit.INTSEL=0x1;
EPWM1Regs.ETSEL.bit.INTEN=1;
EPWM1Regs.ETPS.bit.INTPRD=0x2;
EALLOW;
SysCtrlRegs.PCLKCR0.bit.TBCLKSYNC=0;
EDIS;
}

```

## 2.4 QEP初始化

eQEP模块主要用于转速测量和转子位置定位,广泛用于电机驱动控制下有位置传感器控制的方式中。eQEP为正交脉冲模式的方向模式提供2个输入引脚QEPA/XCLK、QEPB/XDIR和1个零位脉冲输入eQPI引脚。本研究选择正交脉冲模式,正交脉冲编码器提供两个相位差90°脉冲序列,脉冲序列的相位关系由旋转轴的旋转方向和eQEP脉冲确定<sup>[11-12]</sup>。eQEP模块初始化寄存器的设置如下:

```

void QEP_Init(void)
{
EQep1Regs.QDECCTL.bit.QSRC=0;
EQep1Regs.QEPCCTL.bit.FREE_SOFT=2;
EQep1Regs.QEPCCTL.bit.PCRM=0;
EQep1Regs.QEPCCTL.bit.UTE=1;
EQep1Regs.QEPCCTL.bit.QCLM=1;
EQep1Regs.QPOSMAX=0xffffffff;
EQep1Regs.QEPCCTL.bit.QPEN=1;
EQep1Regs.QCAPCTL.bit.UPPS=5;
EQep1Regs.QCAPCTL.bit.CCPS=7;
EQep1Regs.QCAPCTL.bit.CEN=1;
}

```

## 2.5 ADC初始化

F2808的ADC模块是一个12位分辨率的、具有流水线结构的数模转换器,对精度要求不高的系统很适合。本研究采用ADC的工作模式为16通道级联模式,SEQ1和SEQ2级联成一个16状态的序列发生器SEQ。对于每个序列发生器,当转换结束时,被选择采样的通

道值就会被保存到各个通道的结果寄存器中去。有关设置如下:

```

void ADC_Init()
{
AdcRegs.ADCTRL1.all=0x4000;
AdcRegs.CALIBRATION.all=0;
AdcRegs.ADCTRL1=0x2782;
AdcRegs.MAXCONV.all=0x0000;
AdcRegs.CHSELSEQ1.all=0x0000;
AdcRegs.ADCTRL2=0x5000;
AdcRegs.ADCTRL2.all=0x0500;
}

```

## 3 样机与测试结果

本研究设计的无线直流伺服驱动器的电路板如图5所示。



图5 无线直流伺服电机驱动器

本研究利用CCS绘制的测头电机未经减速器情况下转速为1500 r/min的速度响应曲线如图6所示。

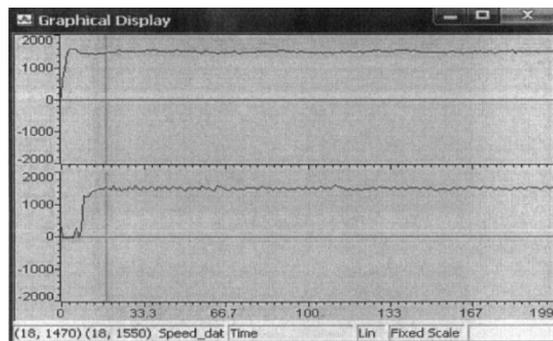


图6 电机速度检测曲线

上半部分:光电编码器用M法测速得到的速度曲线;下半部分:利用捕获中断得到的速度曲线

由图6可知,M法测速较准确,波动小。本研究采用光电编码器M法测速。

(下转第1066页)

### 本文引用格式:

黄齐敏,赵转萍,龚醒. 基于DSP和nRF24L01的无线直流伺服电机控制器设计[J]. 机电工程,2014,31(8):1058-1061,1066.

HUANG Qi-min, ZHAO Zhuan-ping, GONG Xing. Design of wireless DC servo controllers based on DSP and nRF24L01[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(8): 1058-1061, 1066.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

STM32F103ZET6通过矢量运算实现对电机的精确控制并且具有专门用于电机控制的高级定时器(timer3),计算能力超强。以cortex-M为核心的处理器替代单片机是顺应电子时代发展的潮流。本研究基于STM32F103ZET6的开放式数控系统充分利用嵌入式的可编程、易移植的特点,非常适合应用于开放式数控实验平台的开发。通过开放式数控实验平台,高校学生可充分发挥自己学到的软件编程及控制技术,更好地了解数控系统的运作原理。

#### 参考文献(References):

- [1] 郭伟. 对我国数控产业发展的趋势估计[J]. 化学工程与装备, 2009(4): 117-118.
- [2] 叶建敏, 高志, 胡秀亮. 基于单片机控制小型开放式数控平台设计[J]. 机械设计与制造, 2010(8): 188-189.
- [3] 基于MC68HC908MR16单片机的变频空调控制器的研究[J]. 流体机械, 2012, 40(12): 80-84.
- [4] 欧长劲, 彭宽栋, 洪尉尉. 数控旋压机专用数控系统的研究[J]. 机电工程, 2012, 29(11): 11-29.
- [5] STMIROELECTRONICS. STM32F103XE Data sheet [M]. Geneva: STMICROELECTRONICS, 2010.
- [6] 东方马达株式会社. 高效率无失步步进马达组合AR系列驱动器篇(使用说明书)[Z]. 东京: 东方马达株式会社, 2008.
- [7] 李国文, 孙千军. 基于STM32的点位运动控制器设计[J]. 新技术新仪器, 2012(4): 43-46.
- [8] 刘丹, 陈林. 光栅尺在840D数控系统中的应用[J]. 机电工程技术, 2009, 26(12): 80-82.
- [9] 虞日跃, 史洪源. RS-485总线的理论与实践[J]. 电子技术应用, 2001, 27(11): 55-57.
- [10] 孙书鹰, 陈志佳, 寇超. 新一代嵌入式微处理STM32F10开发与应用[J]. 微计算机应用, 2010(12): 61-65.
- [11] 汪立君, 史伟民, 杨亮亮. 基于STM32微控制器的空间矢量脉宽调制[J]. 机电工程, 2011, 28(9): 9-28.

[编辑: 洪伟娜]

#### 本文引用格式:

唐定兵, 高晓丁, 薛世润. 基于STM32F103ZET6的开放式数控运动控制系统[J]. 机电工程, 2014, 31(8): 1062-1066.

TANG Ding-bing, GAO Xiao-ding, XUE Shi-run. Open CNC motion control system based on STM32F103ZET6[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(8): 1062-1066.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>

(上接第1061页)

## 4 结束语

本研究针对测头尾端的信号线比较多且电缆较硬,设计了一种基于DSP和nRF24L01的无线直流伺服电机控制系统。笔者将无线直流伺服电机驱动器放在测头内部,直流伺服电机的信号采用无线传输,并采用直流伺服电机的电流控制模式,当测头三爪伸出与被测孔紧密接触时,电流增大,达到预定值时驱动器进入保护状态并及时关断4路输出。

经实验验证,测头三爪能平稳地伸出与收回,测头电机运行平稳可靠,满足设计要求。

#### 参考文献(References):

- [1] 付聪, 付慧生. 基于nRF24L01的无线温度采集控制系统的设计[J]. 工矿自动化, 2010(1): 73-75.
- [2] 郑艳文, 王彤宇, 林琳, 等. 基于DSP的二轴转台伺服控制系统设计[J]. 机电工程, 2013, 30(2): 210-213.
- [3] 刘和平, 刘平, 王华斌, 等. 数字信号控制器原理及应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [4] RUAN J, BURTON R. A new approach of direct digital control for spool valves [J]. ASME, The Fluid Power and Systems Technology Division, 2002, 9(6): 146-147.
- [5] 李勇波, 周川. 基于DSP的环境监测仪信号采集系统设计[J]. 微计算机信息(嵌入式与SOC), 2009, 25(3): 53-55.
- [6] 胡玮, 阮健, 李胜, 等. 基于DSP的直流伺服电机的双闭环控制系统[J]. 机电工程, 2012, 29(1): 70-73.
- [7] 徐宏贵. 基于DSP的履带式移动机器人运动控制系统设计[D]. 南京: 南京理工大学自动化学院, 2009.
- [8] FAN Qi-fu, SHI Song-jiao. On the well-posedness of the PWM control system [J]. Frontiers of Electrical and Electronic Engineering in China, 2006, 5(1): 105-110.
- [9] 郝文延, 焦明华. 基于DSP和nRF24L01的无线环境监测系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2011(3): 51-54.
- [10] 顾卫钢. 手把手教你学DSP[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [11] 任志斌. 电动机的DSP控制技术与实践[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [12] 徐科军, 陶维青, 汪海宁. DSP及其电气与自动化工程应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010.

[编辑: 李辉]