

## 【信息科学与控制工程】

## 气动位置多变量 DSP 控制系统的实现

宋仁银<sup>1</sup>, 柴栋栋<sup>2</sup>, 王吉顺<sup>3</sup>

(1. 宁德师范学院物理与电气工程系, 福建 352100; 2. 中国航天科技集团公司六院 101 所, 北京 100074;

3. 中核集团兰州铀浓缩有限公司, 兰州 730065)

**摘要:**本控制系统结合了气动系统本身的特点,以位移、速度、加速度多变量状态反馈作为控制方法,在 TMS320F206 型 DSP 数字控制器上进行开发,采用了模块化的结构,自主设计并且实现了气动位置系统新型 DSP 控制器;实验结果表明:系统的实时性比较好,动态品质和稳态性能良好,满足了高精度气动位置伺服控制的要求。

**关键词:**气动位置系统;多变量;状态反馈;DSP

**中图分类号:**TH138;TP273

**文献标识码:**A

**文章编号:**1006-0707(2012)08-0089-03

气动系统具有成本低廉、较高的功率重量比、对环境要求不高(如防磁、防爆和防火等)、无污染、使用和维护方便等一系列优点,因而在工业自动化领域有着非常广泛的应用。工业自动化技术迅猛发展的同时,传统气动系统采用的机械定位及节流阀调速的方式已经无法满足要求,于是人们大多采用电-气比例系统,这样可以方便地实现无级调速及多点无级定位<sup>[1-2]</sup>。

随着电子科学技术的飞速发展,DSP 技术得到了人们更多的关注<sup>[3-4]</sup>。特别是在系统实时控制当中,信号的高速率可以提供实时位置信息,从而保证控制信号响应的快速性。研究针对气动伺服定位系统量身定制,可以完成各种复杂控制算法,设计出具有代表性的气动比例流量阀控缸系统,控制方法是以位移、速度和加速度多变量的状态反馈,设计以 DSP 为控制元件的气动伺服定位控制器并加以实验研究。

## 1 控制器硬件设计

DSP 芯片是适合于进行数字信号处理运算的微处理器,可以实时快速地进行各种复杂的数字信号处理算法。采用 DSP 控制器可以有效结合信号的实时处理能力和控制器的外设功能,为控制系统的设计提供了一个理想的解决方案。DSP 控制器的功能结构框图如图 1 所示,主要分为以下 4 个部分。第 1 个部分为系统主体,是由 DSP 芯片、电源、外部扩展存储器 RAM、RS232 通信、CAN 总线、A/D 转换电路、D/A 转换电路、仿真及逻辑电平转换等电路组成的。第 2 部分为显示与控制模块,包括了液晶显示、控制按钮以及控制指示灯。这个部分主要是显示 DA 输出的位置、工作状态及系统的参数,并且完成手动、自动、联机、复位等功能。第 3 部分

为远程控制以及提供外部接口,有 RS232、仿真、复位以及远程控制按钮等接口。第 4 部分为电源,将 220V 的交流电压转换为 +24V、±12V 和 +5V 直流电压。

在气动伺服控制系统中,输入信号和反馈输出信号都是模拟量,因此控制器主体的 A/D 转换电路、D/A 转换电路对整个系统的控制精度起着决定性的作用。因为,气动控制系统对信号的要求比较高,TMS320F206 的 12 位分辨率模数转换模块无法满足性能要求,所以要扩展 A/D 转换电路。这里采用了 McBSP 与 A/D 芯片、D/A 芯片 DAC7611 和 DSP 进行串行通信。使用 DSP 芯片中的串行外围接口 SPI,其中 DSP 作为 SPI 的主机,DAC7611 充当从机,即 DAC7611 只接收主机的数据,进行 D/A 转换,模拟电压信号从 OUT 引脚输出。通信模块采用 CAN 总线,CAN 总线是一种支持分布式实时控制的串行通信网络,可靠性高,抗干扰能力比较强且通信稳定灵活,协议简单,组网灵活,可以为控制系统提供开放性、全分布式的通信平台。

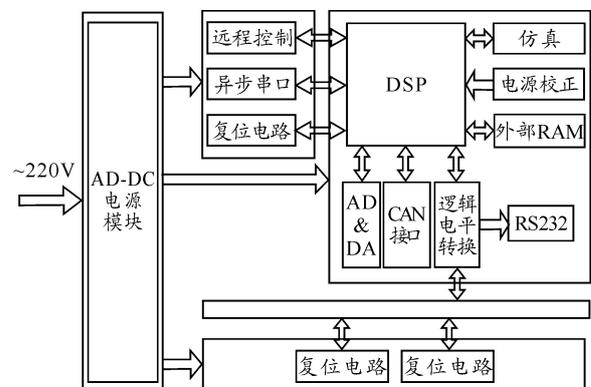


图 1 控制器功能结构框图

收稿日期:2012-05-12

基金项目:宁德师范高等专科学校科研资助项目(2009Y022)。

作者简介:宋仁银(1981—),女,硕士,讲师,主要从事汽车电子、控制系统设计研究。

## 2 控制方法及软件设计

### 2.1 控制方法

气动控制系统具有时间滞后、时变、非线性以及模型不精确等特点,系统属于典型的非线性系统,采用常规的控制策略很难取得满意的控制效果<sup>[5-6]</sup>。因此采用传统的PI控制加速度、加速度状态反馈的复合控制算法,来克服单一策略控制方法的不足,其原理如图2所示。

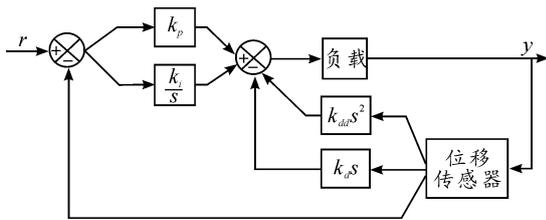


图2 控制系统原理图

采用的控制算法为

$$u(t) = K_p(r - y) + K_i \int (r - y) dt - K_d \frac{dy}{dt} - K_{da} \frac{d^2y}{dt^2} \quad (1)$$

其中: $K_p$  是比例系数; $K_i$  是积分系数; $K_d$  是速度反馈系数; $K_{da}$ 是加速度反馈系数。

### 2.2 信号滤波

控制系统的噪声是需要考虑的,由于速度信号是通过给位移信号加微分得到的,因此在速度信号求取之前要对位移信号进行滤波。滤波过程中,加权滤波器在相同阶次的情况下,效果不如递推滤波器效果好,同时考虑运算效率的因素,系统使用的是递推滤波器。速度信号及加速度信号的滤波过程也是如此。速度信号的滤波效果如图3所示,加速度信号的滤波效果如图4所示。

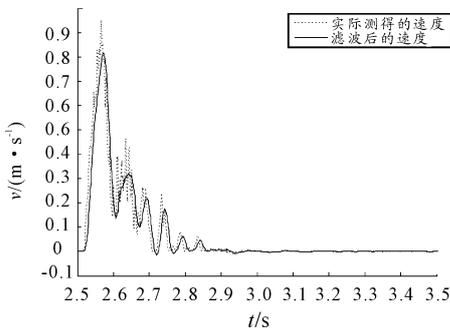


图3 速度信号滤波效果图

### 2.3 控制器软件设计

CCS(Code Composer Studio)是TI开发的完整的DSP集成开发环境。在CCS中,集成了常规的开发工具,如源程序编辑器、代码生成工具以及调试环境等。为了缩短软件部分的开发时间,便于后期的维护和修改,程序设计方法采用了模块化的思想,主要有主程序、液晶跟踪显示参数子程序、远

程控制子程序、显示子程序、CAN总线通信子程序、按键处理子程序、同步串口子程序、异步串口子程序、A/D中断(控制算法)子程序及定时采样子程序等构成。软件结构示意图如图5所示。

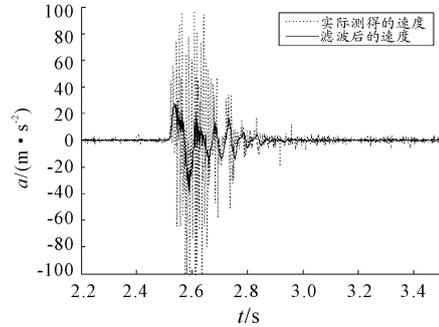


图4 加速度信号滤波

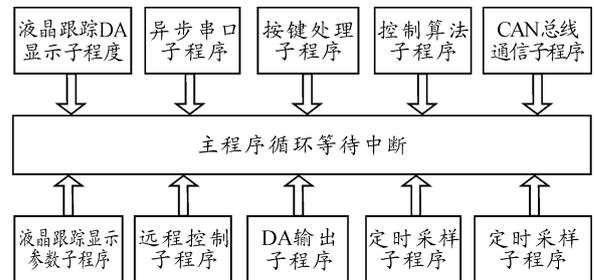


图5 控制系统软件结构

主程序主要对整个系统进行整体控制,调用各子程序,开启各中断。通过控制各子程序,对采样得到的数据,运行控制算法,输出控制信号。

## 3 实验及结果分析

### 3.1 实验系统

实验系统主要有执行元件(气缸)、控制元件(气动伺服控制器)、气源处理单元(比例流量阀)及反馈元件(CAN总线位移传感器)组成,如图6所示。气缸为带导轨的气缸,缸径 $\Phi 30$  mm,行程180 mm;供气压力0.75 MPa;质量负载13 kg;比例流量阀的最大流量为110 L/min,平直段频宽达75 Hz;位移传感器采用了CAN总线数字式传感器,其精度高且抗干扰性能强,由位移的差分来得到速度信号,由速度的差分来得到加速度信号。满量程为200 mm,分辨率8  $\mu\text{m}$ ,重复精度为满量程的 $\pm 0.002\%$ ,滞后小于5  $\mu\text{m}$ 。

### 3.2 实验结果及分析

气动伺服控制系统的控制性能会受到很多因素的影响,比如气源的压力、负载的变化、系统性能指标的变化等。针对本系统,针对外来条件的变化,控制参数的变化进行实验研究。方波响应的实验结果如图7和图8所示。从图中可知,尽管幅值不同,但伺服控制系统的响应特性良好,定位精

度误差小于  $\pm 0.15$  mm, 响应时间小于 1.8 s, 基本上没有超调, 达到了一般工业应用场合的工作要求。

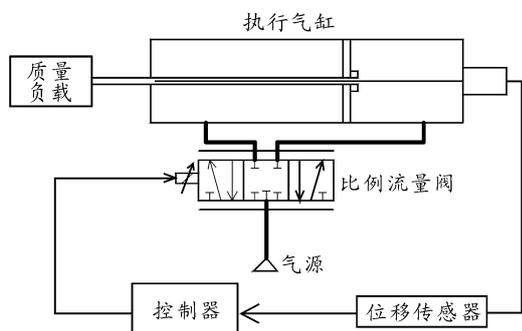


图6 实验系统组成示意图

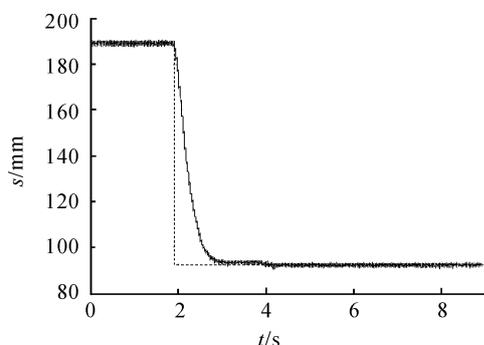


图7 小幅值方波信号实验曲线

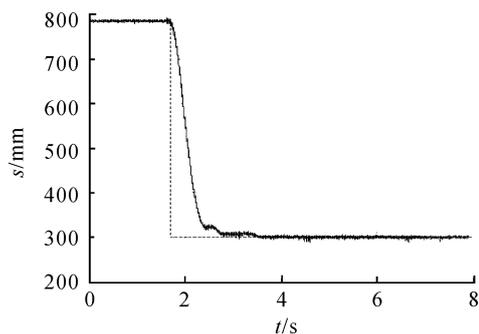


图8 大幅值方波信号实验曲线

## 参考文献:

- [1] 谢朝夕. 气动伺服定位系统的理论研究与应用[D]. 重庆: 重庆大学, 2005.
- [2] 闵为. 气动比例伺服系统控制算法及实验研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006.
- [3] 鲍燕伟. 基于 DSP 的气动伺服系统的研究[J]. 液压与气动, 2009(12): 30-33.
- [4] 鲍燕伟. 基于 DSP 气动伺服系统的智能模糊 PID 控制[J]. 液压与气动, 2010(7): 29-32.
- [5] 赵升奇. 气动位置控制系统建模及控制策略研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2003.
- [6] 余兵. 模糊控制及其在液压伺服系统中的应用[J]. 液压与气动, 2006(10): 56-64.

(责任编辑 周江川)

(上接第 84 页)

## 参考文献:

- [1] 何晓群, 刘文卿. 应用回归分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2001: 18-19.
- [2] 方开泰. 实用多元统计分析[M]. 上海: 华东师范大学出版社, 1989: 87.
- [3] 刘润幸. 利用 SPSS 进行多元线性回归分析[J]. 北京: 中国公共卫生, 2001(8): 746-748.
- [4] 陶勤南. 回归分析与回归设计[J]. 北京农业科学, 1984

(专集): 1-76.

- [5] 何晓群, 刘文卿. 应用回归分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2001: 76-77.
- [6] 周复恭, 黄运成. 应用线性回归分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1989: 90.
- [7] 马小光. 供电系统背景谐波电压辨识的研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2007: 24-27.
- [8] 李伟. 保定地区电力市场需求预测分析研究[D]. 保定: 华北电力大学, 2003: 20-30.

(责任编辑 杨继森)