

文章编号: 1002-6673 (2011) 03-144-03

基于 MMA7260 两轮自平衡小车控制系统设计

杨继志, 郭 敬

(北京航天试验技术研究所 机电技术事业部, 北京 100074)

摘 要: 两轮自平衡小车运动控制的关键是小车平衡的控制。本文设计并制作了一台以 MMA7260 加速度传感器为姿态敏感元件, 采用 STC12C5A60S2 单片机作为主控制器, 通过 L298 电机驱动模块驱动双向直流电机实现两轮自平衡小车的姿态控制。将涉及到具体硬件的控制程序进行了分离和封装, 因此小车可以作为验证各种控制算法性能的理想物理平台, 并采用 PID 算法对小车姿态控制进行了试验, 验证了自平衡小车物理系统方案的可行性。

关键词: MMA7260; 两轮自平衡小车; STC12C5A60S2; 控制算法

中图分类号: TB51 **文献标识码:** A doi:10.3969/j.issn.1002-6673.2011.03.058

Two Wheel Self-balancing Car Control System Design Based on MMA7260

YANG Ji-Zhi, GUO Jing

(Beijing Institute of Aerospace Testing Technology, Beijing 100074, China)

Abstract: Balance control is the key to the two wheel self-balancing car movement control. This article was designed and made a gesture to MMA7260 accelerometer which sensing element is used STC12C5A60S2 SCM as a main controller driven through the L298 motor driver module to achieve two-way DC motor car from the balance of the attitude control. Specific hardware control procedures were isolated and packaged, so the car can be used to be an ideal physical platform testing the performance of various control algorithms. The PID algorithm was used to control the attitude of the car. Results verify the feasibility of the method.

Key words: MMA7260; two wheel self-balance car; STC12C5A60S2; control algorithm

0 引言

两轮自平衡车的物理结构决定了它的重心在支点之上, 因此在非控制状态(或静态)下为一不稳定系统, 只有通过自动姿态控制, 才能使小车非车轮部分重心保持在车轮轴垂直线上。同时两轮自平衡车在姿态控制过程中, 物理支撑部位直接与地面接触, 这与一般的一级倒立摆运行在经过加工的导轨上不同, 虽然二者动力学模型类似, 但是其控制过程中受到的干扰因素更丰富, 因此两轮自平衡小车是研究各种控制算法性能的理想平台。

本文设计的两轮自平衡小车控制系统, 采用 MMA7260 三轴高灵敏度加速度传感器作为自平衡小车的姿态传感元件, 采用 STC12C5A60S2 单片机作为主控制器运行控制算法, 采用 L298 作为电机控制芯片, 实现对车轮驱动直流电机的控制。STC12C5A60S2 单片机最高允许的晶振频率达 35MHz, 运算速度较快, 同时还集成了 AD 转换器和 PWM 输入功能, 大大简化了与 MMA7260 模

拟信号的连接和对直流电机的控制电路, 使用方便。

为了方便各种控制算法上机试验, 本文还对与硬件相关的传感器输入和电机控制输出代码进行了分离和封装, 简化了程序设计工作, 使重点集中在控制算法的研究上。

1 系统硬件设计

整个系统以 MMA7260 及单片机为核心进行电路的设计。控制芯片采用 STC12C5A60S2 单片机。

MMA7260 检测到的两轮自平衡小车姿态信号, 以模拟量电压的方式传送给单片机, 单片机对读入的小车姿态数据作为执行控制算法的输入, 经过计算后, 将控制信号传送给 L298 放大用以控制直流电机的运动, 实现自平衡小车的姿态控制。

本系统采用的 STC12C5A60S2 是高速/低功耗/超强抗干扰的新一代 8051 单片机, 指令代码完全兼容传统 8051, 但速度快 8~12 倍。内部集成 MAX810 专用复位电路, 具有 2 路 PWM, 8 路高速 10 位 A/D 转换器。非常便于接收传感器的模拟信号和控制小功率直流电机。并且单片机有 ISP (In-System Programming) 在系统可编程功能, 非常便于单片机小型程序的调试和控制参数调试。

收稿日期: 2011-03-19

作者简介: 杨继志, 高级工程师。主要研究领域: 工业自动化控制。

MMA7260 是由多晶硅微加工表面工艺制成的电容式加速度传感器, 由硅片表面的弹性结构支撑起的质量块下面粘附电容的一个极板, 电容的另一个极板固定, 当加速度引起质量块的相对位置变化时, 电容值也发生变化, 经过电容电压转化电路和放大滤波电路后输出与加速度成正比的电压信号^[2]。由于以上电路和微机械部分全部封装在一块芯片内, 因此 MMA7260 的使用非常简便, 极大的简化了与单片机等其它芯片的硬件连接。图

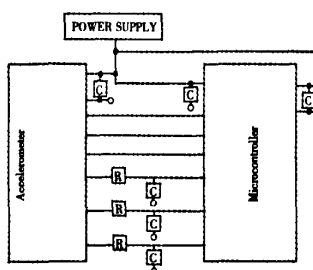


图1 MMA7260与STC12C5A60S2之间的连接

Fig.1 Recommended Interfacing MMA7260 to STC12C5A60S

1 是 MMA7260 与 STC12C5A60S2 之间连接的电路图。

MMA7260 测量出的加速度方向是: 纸面水平方向为 X 方向, 左向为 X 正方向。纸面上下方向为 Y 方向, 上方为 Y 正方向。垂直纸面方向为 Z 方向, 纸面下为 Z 正方向。

2 软件设计

两轮自平衡小车软件部分主要由加速度传感器数据采集处理程序、电机控制程序和控制算法程序组成。数据采集处理程序, 主要解决 MMA7260 传送的加速度模拟信号进入单片机以及数据的解算。电机控制程序由于本系统采用的单片机具有 PWM 功能, 因此, 大大简化了电机控制程序的编制, 主要是 PWM 功能寄存器的使用。控制算法是独立于以上两类程序的单独模块, 在以上两部分程序解决了与硬件相关的程序后, 算法控制程序部分只需关注各类控制算法本身的编程问题。

2.1 MMA7260 加速度传感器 AD 采集

MMA7260 与 STC12C5A60S2 单片机的连接十分简便, 根据 MMA7260 的数据手册可知, 只要在 7260 与单片机 AD 引脚间加阻容滤波器即可直接连接, 不需要其它有源元件, 程序的编制也很简练, 以下是单片机采集 MMA7260 数据的关键程序段。

```
typedef unsigned int INT16U;
//SPEED1 SPEED0 A/D 转换所需时间
#define AD_SPEED 0x60 //0110,0000
ADC_CONTR |= 0x80; //1000,0000 打开 A/D 转换电源
ADC_10bit = get_AD_result (2) ;//P1.2 为 A/D 当前通道
void delay () //延时函数
{
    n = 6000;
    while (--n);
}
```

```
INT16U get_AD_result (INT8U channel)
{
    ADC_DATA = 0;
    channel &= 0x07; //0000,0111 清 0 高 5 位
    ADC_CONTR = AD_SPEED;
    ADC_CONTR = 0xE0; //1110,0000 清
    ADC_FLAG, ADC_START 位和低 3 位
    ADC_CONTR |= channel; //选择 A/D 当前通道
    delay (); //使输入电压达到稳定
    ADC_CONTR |= 0x08; //0000,1000 令 AD-
    CS = 1, 启动 A/D 转换,
    while (1) //等待 A/D 转换结束
    {
        if (ADC_CONTR & 0x10) //0001,0000 测试
        A/D 转换结束否
        { break; }
    }
    ADC_CONTR &= 0xE7; //1111,0111 清
    ADC_FLAG 位, 关闭 A/D 转换,
    return (ADC_DATA<<8 | ADC_LOW2); //返回 A/D
    10 位转换结果
}
```

2.2 电机控制程序

电机的控制采用 PWM 脉冲宽度调制控制, PWM 信号通过 L298 放大后直接控制小型直流电机驱动两轮小车运动, 主要的程序段如下:

```
void PWM (int motor1,int motor2)
{
    //初始化
    CCON=0X00;
    CMOD=0X84;
    CL=0X00;
    CH=0X00;
    //电机 1PWM 控制
    CCAPM0=0X42;
    CCAP0L=motor1;
    CCAP0H=0xf0;
    PCA_PWM0=0;
    //电机 2PWM 控制
    CCAPM1=0X42;
    CCAP1L=motor2;
    CCAP1H=0xf0;
    PCA_PWM1=0;
    //启动 PCA 计数器
    CR=1;
}
```

2.3 控制算法程序

两轮自平衡小车的测试控制算法采用 PID 控制算法。但是由于采用单片机作为控制 CPU, 为保证运算速度, 进行了简化, 具体的 PID 参数是由 (下转第 140 页)

4 调速阀流量稳定范围讨论

调速阀的流量稳定范围是有限的。原因分析如下:

(1) 调速阀安装在进油路 (见图 2)。在定差减压阀弹簧力 F_s 调定后, 节流阀前后的压力差 Δp 就确定了, 即 $\Delta p = p_2 - p_3 = \frac{F_s}{A}$ 。如果负载增加引起 p_3 增大, 则由于定差减压阀的压力补偿作用, 可以保证 Δp 不变, 维持调速阀流量稳定。但是, 在 p_3 增大至 $p_3 = p_1 - \frac{F_s}{A}$ 以后, 定差减压阀不能再起作用, 于是节流阀前后的压力差下降, 不再保持常数, 通过节流阀的流量减小。到 $p_3 = p_1$ 时, 通过节流阀的流量等于零。由此可知, 调速阀放在进油路时, 出口压力 p_3 必须满足不等式 $p_3 < p_1 - \frac{F_s}{A}$, 流量才能

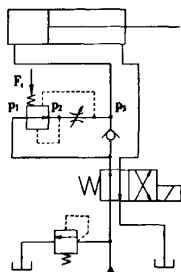


图2 调速阀安装在进油路
Fig.2 Speed control valve installed in in-line loop

能稳定。为了增大调速阀的流量稳定范围需要减小 $\frac{F_s}{A}$, 但 $\frac{F_s}{A}$ 必须足以克服摩擦力, 否则阀芯会卡死。

(2) 调速阀安装在回油路 (见图 3)。当负载增大引起调速阀进口压力 p_1 减小时, 由于定差减压阀的补偿作用, 可以保持 $\Delta p = p_2 - p_3 = \frac{F_s}{A}$ = 常数 (在弹簧力 F_s 调定时), 从而保证调速阀流量稳定。但是, 当

p_1 减小到 $p_1 = \frac{F_s}{A}$ 以后, 由于

$p_2 = p_1 < \frac{F_s}{A}$, 定差减压阀阀口

全开, 节流阀前后压力差下降, 不能继续保持为常数, 通过节流阀的流量减小。当 $p_1 = 0$ 时, 通过节流阀的流量等于零。由此可知, 调速阀装在回油路时, 进口压力 p_1

必须满足不等式 $p > \frac{F_s}{A}$, 流量才能稳定。显然, 减小 $\frac{F_s}{A}$ 对增大调速阀的流量稳定范围有利。

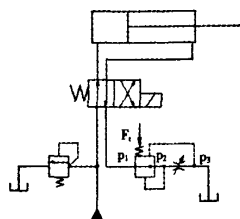


图3 调速阀安装在回油路
Fig.3 Speed control valve in oil return loop

5 结束语

通过上述讨论可以得出以下结论: ①调速阀的压力补偿机构, 即定差减压阀在反向流动时不起作用; ②调速阀的定差减压阀所控制的不是自身的前后压力差, 而是与其串联的节流阀的前后压力差; ③调速阀的定差减压阀为常开结构; ④调速阀的流量稳定范围是有限的, 即对进、出口压力的变化有一个限制, 否则将不能正常工作。

参考文献:

- [1] 何存兴. 液压元件[M]. 北京: 机械工业出版社, 1992.
- [2] 雷天觉. 新编液压工程手册[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1998.
- [3] 明仁雄, 万会雄. 液压与气压传动[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [4] 杜来林. 液压与气动技术[M]. 北京: 北京大学出版社, 2006.
- [5] 杜来林. 飞机附件检修[M]. 北京: 航空工业出版社, 2006.

(上接第 145 页) 实验确定的。由于单片机的处理速度和 ram 资源的限制, 一般不采用浮点数运算, 而将所有参数全部用整数运算。到最后再除以一个 2 的 N 次方数据 (相当于移位), 作类似定点数运算, 可大大提高运算速度。以下是一个实际运行速度较快的单片机 PID 算法程序。

```
typedef struct PID {
    double SetPoint; // 设定目标 Desired value
    double Proportion; // 比例常数 Proportional Const
    double Integral; // 积分常数 Integral Const
    double Derivative; // 微分常数 Derivative Const
    double LastError; // Error [-1]
    double PrevError; // Error [-2]
    double SumError; // Sums of Errors
} PID;

PID 计算部分
double PIDCalc (PID *pp, double NextPoint)
{
    double dError, Error;
    Error = pp->SetPoint - NextPoint; // 偏差
    pp->SumError += Error; // 积分
    dError = pp->LastError - pp->PrevError; // 当前微分
```

```
pp->PrevError = pp->LastError;
pp->LastError = Error;
return (pp->Proportion * Error // 比例项
+ pp->Integral * pp->SumError // 积分项
+ pp->Derivative * dError // 微分项
);
```

3 结束语

本文讨论的是一种两轮自平衡小车运动控制系统。从系统中关键的加速度传感器 MMA7260 芯片入手, 对系统的硬件组成进行了详细的介绍, 在软件方面主要针对对系统的传感器模拟信号输入的读入、电机控制信号的输出以及控制算法的实现方面进行了分析, 并给出关键的程序段, 所有软硬件系统通过了调试运行, 证明系统组成是可行的。

参考文献:

- [1] Freescale.MMA7260Q Data Sheet[Z].2005.
- [2] 李蒙, 李刚, 等. 基于 MMA7260 的新型汽车防盗报警系统[J]. 天津工业大学学报, 2008, 4.

基于MMA7260两轮自平衡小车控制系统设计

作者: [杨继志](#), [郭敬](#), [YANG Ji-Zhi](#), [GUO Jing](#)
作者单位: [北京航天试验技术研究所, 机电技术事业部, 北京, 100074](#)
刊名: [机电产品开发与创新](#)
英文刊名: [DEVELOPMENT & INNOVATION OF MACHINERY & ELECTRICAL PRODUCTS](#)
年, 卷(期): 2011, 24(3)

参考文献(2条)

1. [李蒙;李刚](#) [基于MMA7260的新型汽车防盗报警系统](#) 2008(04)
2. [Freescale](#) [MMA7260Q Data sheet](#) 2005

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_jdcpkfycx201103058.aspx