

角度自动控制系统的设计

谢国坤

(西安交通工程学院 电气工程学院, 陕西 西安 710300)

摘要:为了实现对帆板角度快速准确的调节,以单片机为核心控制器设计了一款角度自动控制系统。利用 MPU6050 三维角度传感器实时采集角度信息,并采用 LCD1602 液晶显示器将角度信息实时显示。为了能够精确地控制电机的转速,选取 PID 控制算法的反馈调节机制控制电机,使角度误差最快减为零的 PWM 占空比,单片机采用定时器中断产生的 PWM 波实现对电机转速的控制,使得电机快速响应。如果调节的角度大于已设定的阈值,那么将会触发声光报警。利用 simulink 软件搭建 PID 模型,根据电机转速的变化曲线选定 PID 控制器参数,结合 Proteus 和 keil 软件仿真电路原理图,并对系统实物制作。实物测试与仿真结果表明,系统采用 PID 算法可以实现对角度的快速调节,系统响应时间小于 3 s,角度调节的最大相对误差小于 5%,该系统实时调节性能较快,具有良好的稳定性。

关键词:STC89C52;角度调节;PWM 波占空比;传感器

中图分类号:TN602

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2020)07-0210-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2020.07.043

Design of Angle Automatic Control System

XIE Guo-kun

(School of Electrical Engineering, Xi'an Traffic Engineering Institute, Xi'an 710300, China)

Abstract: In order to realize the quick and accurate adjustment of windsurfing Angle, an automatic Angle control system is designed with the single-chip microcomputer as the core controller. The MPU6050 3d Angle sensor is used to collect the Angle information in real time, and the LCD1602 LCD is used to display the Angle information in real time. In order to accurately control the motor speed, the feedback adjustment mechanism of PID control algorithm is selected to control the motor, so that the Angle error can be reduced to zero as soon as possible, PWM duty cycle. Single-chip microcomputer uses the PWM wave generated by timer interrupt to control the motor speed, so that the motor can respond quickly. If the adjustment Angle is greater than the set threshold value, the sound and light alarm will be triggered. Using simulink software to build the PID model, PID controller parameters are selected according to the variation of motor speed curve, combined with electrical schematic diagram and Proteus keil software simulation, and the system physical production. Physical test and the simulation result show that this system with PID algorithm can realize the rapid adjustment of Angle, whose response time is less than 3 s and maximum relative error of Angle adjustment is less than 5%. The system has fast real-time regulation performance and strong stability.

Key words: STC89C52; Angle adjustment; PWM wave duty cycle; sensor

0 引言

进入 21 世纪以来,曾支撑了整个 20 世纪人类文明高速发展的石化能源在千禧年之后出现了日趋严重的危机,其储藏量被疯狂开采后不断锐减,同时也带来了严重的环境问题。而太阳能是目前自然界已知存储量最大的清洁能源,但由于开采利用技术的不成熟,导致能源的严重浪费。随着近年来,新型数字化技术和自动化控制技术在生产领域的广泛应用,以及数字信号处理技术的不断成熟,自动控制技术越来越多地被

应用到生产生活领域。

文献[1]中,选用单片机 STC89C52 作为角度控制系统的主控制器,该系统采用按键模式设置帆板角度,采用 PID 控制器调节电机快速响应。文献[2]中,以 51 单片机为核心,通过霍尔式角度传感器检测帆板倾斜的角度,利用 PWM 脉冲调制电机转动。文献[3]中,采用 STC 芯片作为处理器,结合 PID 算法和 PWM 脉冲控制电机转速。文中主要以 STC89C52 单片机作为核心器件,利用 MPU6050 检测电机旋转角度,应用

增量式 PID 算法,实现电机根据光照角度的变化,使电机快速响应,且设置了显示模块和按键模块,可实时监测电机旋转角速度,采用按键实现了手动和自动两种操作模式的切换。

1 硬件设计

1.1 系统硬件的组成

该设计采用 STC89C52 作为角度自动控制系统的主控制器件,另外,包括 MPU6050 角度检测、电机驱动、光强检测、LCD 液晶显示和按键等功能模块,根据这些模块可实现帆板的实时控制。该系统的结构框图如图 1 所示。

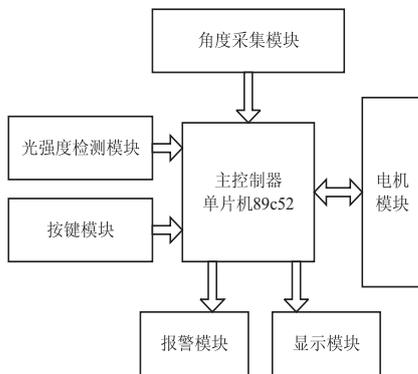


图 1 系统总框图

由图 1 可知,根据光照检测模块实时检测光照角度值,同时,MPU6050 角度传感器将实时检测到的角度信号通过 A/D 转换获得帆板角度信息,并实时显示在 LCD1602 液晶显示屏上。在软件设计中,结合 PID 算法,通过单片机控制 PWM 波的输出,快速准确地控制电机驱动帆板转动,若调节角度大于 180° 时,则触发报警;另外,需要利用按键模块在手动模式和自动模式之间切换,从而可调节帆板角度。

1.2 硬件电路设计

根据系统框图设计系统电路原理图。系统主要采用 STC89C52 单片机作为主控制器,其中角度测量电路主要采用 GY-521 MPU6050 模块三维角度传感器,MPU-6050 还有第二个 I2C 端口以方便连接 51 单片机的其他模块。工作电压一般为 $3\text{V} \sim 5\text{V}$ 的直流电,此外,MPU-6050 的角速度全格感测范围为 $+250 \sim -250^\circ/\text{sec}$ 和 $+500 \sim -500^\circ/\text{sec}$,最大可达到 $+1\,000 \sim -1\,000^\circ/\text{sec}$,具有极大的转动广角,可快速追踪转动动作进行实时的测量调控。采集到的 θ 角度可通过卡尔曼滤波器处理,卡尔曼滤波器在许多领域具有广泛的应用,包括机器人导航与控制、雷达跟踪系统等,近年来还被应用于计算机图像处理,如视频图像跟踪等。

MPU6050 角度传感器 SCL 时钟线、SDA 数据线分别与单片机的 P3.2、P1.4 连接进行 IIC 通信。SCL

为高电平时,当 SDA 由高电平向低电平跳变时,开始传送数据。SCL 为高电平时,当 SDA 由低电平向高电平跳变时,结束数据传送^[4-6]。

电机驱动电路主要采用 ULN2803 步进电机驱动,因为 STC89C52 输出的电压一般为 5V ,不足以带动步进电机驱动,所以需要采用 ULN2803 加以驱动^[6]。驱动模块 ULN2803 的 8 位输入分别与 STC89C52 的 D 口 8 位输出相连;而 8 位输出分为两组,目的是可同时连接两个步进电机。其接法比较简单,按照要求输入、输出、电源和地线分别相连即可,电源选用 $+5\text{V}$ 。使用 ULN2803 驱动电机时,当输入信号为高电平时,输出导通为低电平;输入为低电平时,则不导通。

光强检测模块采用简单的光敏电阻排列^[7-9],将光强转换为数字信号,通过 I2C 总线接口与主控芯片通信,通过程序性的比较,选择最大平均光强,单片机主控模块对其他模块进行控制。通过积分式 A/D 转换器将流经光敏二极管的电流积分转换为数字量,该数字输出表示测量每一个方向上的光强^[7]。输出的数字信号作为 STC89C52 微处理器的一个输入信号,从而满足该系统的光采集和转换任务。

在实物设计中,选用 PCF8591 获取数据,其是一个单片集成的低功耗器件,主要完成数据转换^[8]。在本系统中,PCF8591 与单片机相连时,需接四个 10k 的上拉电阻,用于保护光敏检测模块^[10-12]。PCF8591 中的 A/D 转换将测得的平均光强等模拟信号,转变为数字信号送入单片机,进行对比确定光源方向^[13]。I2C 总线接口分别接主控芯片的 P1.0 和 P1.1 接口用以与单片机进行通信。

显示电路采用常用的 LCD1602 液晶屏进行实时显示,以串行的方式与单片机进行通信,串行数据端口 RS 与单片机的 P1.4 相连,用于给显示器传输指令和数据。读写引脚 RW 和单片机的 P1.3 口相连,控制液晶的读写数据^[14]。数据的传输通过单片机 P1 口实时传输给显示器。

在实际连接 LCD1602 液晶显示时,LCD1602 分为有背光和无背光。存在背光情况时,需连接 V0 引脚调整背景光对比度,单片机的 P16 引脚可实现对显示屏背景光的亮度调整。

按键电路外围五个按键,可以实现帆板在上下左右对方向上的调节。其中,S5 按键实现对系统工作模式的切换,两个发光二极管绿色表示在自动模式下工作,红色表示在手动模式下工作;在手动模式下,上下左右四个方向的按键分别与 STC89C52 的 P3.5、P3.3、P3.4、P3.6 引脚连接,可实现帆板的转动^[15]。

在设计功能指示灯时,为了保护发光二极管电流过大,连接了 $1\text{k}\Omega$ 的分压电阻。在软件设计中,按键

选用软件消抖,即增加一个循环延迟,增加按键的接触反应时间,使得按键的效果更加稳定。

为了能够精确地控制电机的转速,选取 PID 控制算法的反馈调节机制控制电机,使角度误差最快减为零的 PWM 占空比,单片机采用定时器中断产生的 PWM 波实现对电机转速的控制,使得电机快速响应^[16]。

2 PID 算法设计

为了使电机能够跟随条件实时改变转速,且响应速度稳定,可选用 PID 控制算法对电机进行转速调制。PID 控制算法不需要对控制对象建立相应的具体模型,只需要根据经验对调节器的误差及误差变化率等参数在线调整,从而使控制对象的适应性和灵活性增强^[13]。

在自动角度控制系统中,采用 PID 算法调节电机转动角度,使得电机根据设定条件快速响应,使得帆板

光照接触面达到最大,且响应过程稳定性能较好,可以实现自动角度检测系统的设计^[17]。根据采集光照信息转换的角度值,结合 PID 控制器中的积分器控制,使得响应与激励的积分存在正比例的关系,从而实现消除稳态误差的功能。根据本系统功能和设计要求,采用数字增量式 PID 控制器设计,该控制器的计算公式如下:

$$\Delta u = K_p [e(k) - e(k - 1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k - 1) + e(k - 2)]$$

其中, K_p 、 K_i 和 K_d 表示 PID 控制器的比例、积分和微分系数, e 为转速误差^[3]。本系统根据设定转速,比例项 K_p 的调节可以快速提取转速误差,积分项 K_i 可以使电机的转速与设定阈值一致,保证静差为零,微分项 K_d 可以对电机在下一个周期的输出信号进行预测,从而快速提高系统的响应速率。利用 simulink 软件搭建的 PID 控制仿真模型如图 2 所示。

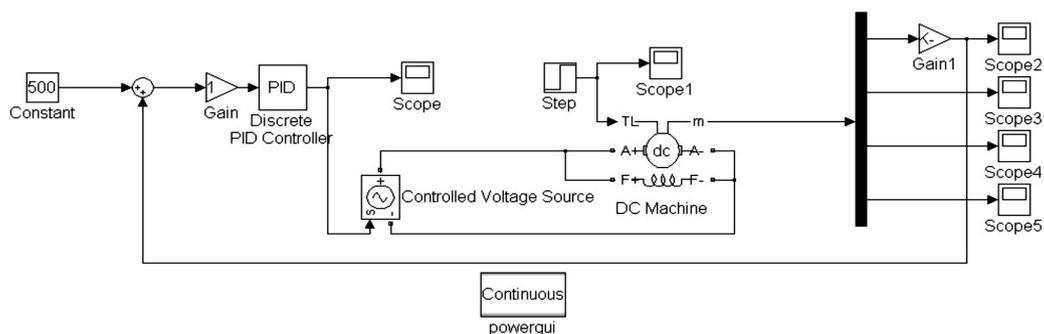


图 2 PID 控制仿真

在图 2 中, PID 控制模型主要包括 PID 控制器模块、直流电机模块、可控电源模块以及对各节点输出信号检测的示波器。在该模型中,利用可控电压源输出信号的大小模拟 PWM 波形来实现对电机转速的调节,其输出引脚分别与电机的电枢绕组引脚 A+、A- 和磁极绕组引脚 F+ 和 F- 连接;为了模拟负载的大小,在电机的 TL 端加入了一阶跃信号,信号的仿真时间表示加入负载时长;通过电机输出端引脚 m 可以输出电机旋转角速度、转矩、电枢和励磁电流信号等状态量,电机转速阈值设定为 500 rad/s,通过电机的 m 引脚传输电机相关的状态变量,其中包括电机的旋转角速度,图 2 中利用示波器 2 可实时监测电机的转速。

PID 控制器参数的设定可根据不同的算法计算得到,或者根据实际应用测试结果选取最优值^[14]。但是,实际应用中,需根据经验需求,利用多次尝试选取合适的参数,本系统选取的仿真参数为 $K_p = 0.14$ 、 $K_i = 1.5$ 和 $K_d = 0.14$ 。图 3 为 step 的阶跃信号仿真波形,阶跃信号在 0.7 s 时发生跳变,表示电机在此刻加入负载。

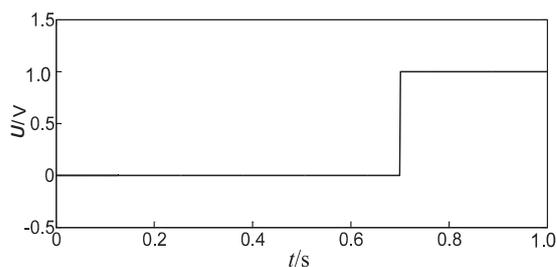


图 3 负载转矩仿真

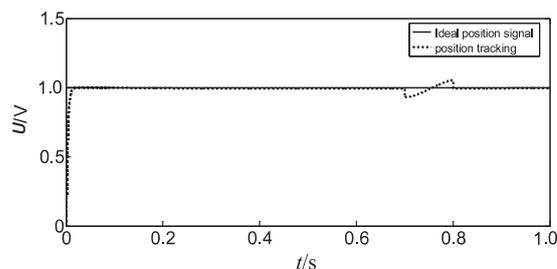


图 4 电机转速的变化曲线

根据各项参数的设定,查看示波器 2 中信号波形,如图 4 所示。从图中可知电机转速在 10 s 内的变化情况,电机在 0.05 s 基本趋于稳定,当在 0.7 s 加入负载时,电机转速轻微发生波动,但在 0.11 s 内趋于平稳,

表明在PID控制器中选用的 K_p 、 K_i 和 K_d 各项参数使得电机快速响应,根据转速波形可知,该系统具有一定的抗干扰能力,稳定性较好。

3 软件设计

3.1 系统主流程

开机进入初始化,初始化程序包括定时器初始化、标志位初始化及液晶初始化等;液晶屏初始化完成后,液晶屏将清屏,显示初始角度,其他模块开始工作,光采集模块采集光强信息,通过A/D转化将模拟信号转为数字信号,传送到STC89C52主控芯片,利用PID算法控制单片机占空比的输出来控制电机转速,并且在一定周期内实时反馈调整。若调整角度大于 180° ,则触发声光报警,提醒复位,如果没有达到所需调整角度,则利用PID算法的反馈调节机制,再次反馈调节,直至满足角度调整需求为止。本系统的主流程如图5所示。

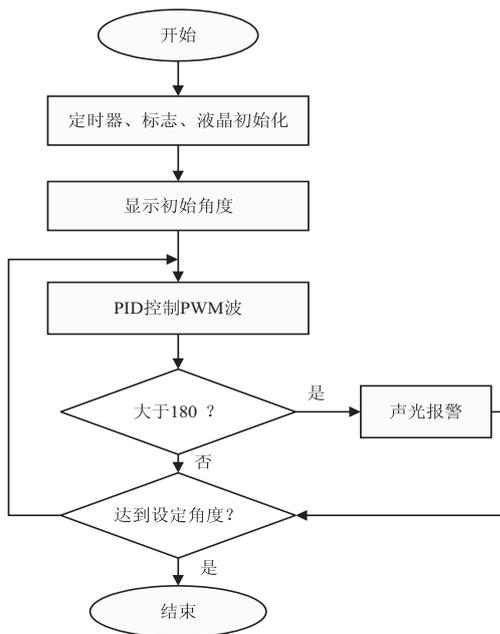


图5 主程序流程

其中,角度检测程序开机后进行初始化,初始化完成之后,由角度传感器检测到当前角度,通过A/D转换,转换为系统可识别的数字信号,读入数字信号,调整数字信号值,在允许的误差内将处理过的数字信息送入主控芯片,完成角度检测模块的任务。PCF8591的A/D转换程序,开机完成初始化之后,开始向控制芯片送入控制字,由内部控制命令完成模数转换,等待转换。若转换完毕,则直接将数字信号送入单片机,若转换未完成,则返回继续进行转换,直至转换完成为止。

在自动角度采集系统中,由于电机旋转过程中存在抖动现象,以及容易受到外界环境的变化等影响电机角度的准确控制,从而使得采集到的信号不稳定。

文中在ADC转换过程中,采集的模拟信号波形抖动较大,严重影响了 θ 角度的稳定性控制;为了能够更好地提高角度稳定性的控制,可在系统软件设计中滤除采集信号的干扰量。该设计主要采用卡尔曼滤波器滤除ADC转化后的模拟量中的干扰信号,使得输出信号电流为 $4\text{ mA} \sim 20\text{ mA}$,随后结合去极值取平均值算法使得输出的 θ 角度稳定性得到提高。

在算法测试过程中,系统干扰噪声为高斯白噪声,使用参数 Q 表示,过程白噪声采用参数 R 表示,实时测量电压值为 x_{mid} ,设前一次测量的电压值为 x_{last} ,实时最优偏差量为 p_{mid} ,前一次最优偏差值为 p_{last} ,增益为 K_i ,估计最优值为 x_{now} 。将首次测量的电压值作为当前电压值,最优偏差 p_{mid} 与系统白噪声 Q 相加,作为当前最优偏差;利用实时最优偏差与白噪声之比,求出实时误差增益,结合误差增益和实施估计电压值求出实施最优值,采用实时最优偏差和误差增益求出实时协方差,将求得的协方差作为下次测量的最优偏差,以及将实时最优电压值作为下次测量的估计值,不断重复此过程,直到获得最优值。

在测试过程中,可适当调整 Q 和 R 的值,数据不断更新过程中使得数据偏差减小,结合平均值滤波算法保证采集的ADC输出信号偏差较小,从而提高系统的稳定性。但是,当 Q 和 R 值选取不合适时,将会产生数据偏差较大的情况,从而很难获得稳定数值。

3.2 仿真与测试结果分析

利用Proteus软件绘制电路原理图,在Keil软件下编写程序,运行并生成Hex文件,利用stc_isp软件将Hex文件烧录入单片机。根据电原理图设计实物,实物测试如图6所示。

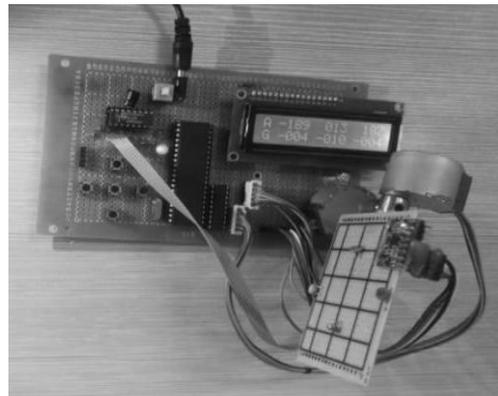


图6 实物测试

通过调节四个方向的光敏电阻的阻值,模拟不同方向上的光源,此时步进电机的步距角为 5.6° ,从占空比可以看出一个周期内两个电机的PWM占空比是一样的,所以达到了上左方向的光源模拟要求。根据仿真结果可知,采用PID算法可使电机快速响应,根据采集的光照信息,快速旋转到光照相对较强区域,稳定

性较好。

在实物测试过程中,液晶显示第一行为 X、Y、Z 轴的角速度,第二行为其加速度,角速度分别为-189、13、187(单位:rad/s),可以根据弧度与角度之间的关系转化为角度值,根据角度信息可以实时监测采集光照帆板的旋转角度。在测试过程中,该设计可以根据光照旋转帆板,电机转速稳定,响应灵敏度高,基本实现了预期的设计目标。

4 结束语

设计了一款基于 STC89C52 的角度自动控制系统,选用 STC89C52 单片机作为核心控制芯片,通过排列式光敏电阻阵确定最大采光点,再由 MPU6050 角度传感器确定角度信息,随后,通过 PCF8591 将模拟角度信号转换为数字角度信号,输送到主控芯片,同时根据 PID 算法的反馈调节,调节 PWM 占空比的输出来控制 ULN8023 驱动电机的转速,使得电机响应灵敏。同时该系统具有声光报警、液晶显示和按键控制等功能,可实时监测角度及在手动和自动模式之间切换,具有较高的稳定性和可靠性。结合光强检测的实时性和角度检测的可靠性,能够在一定时间内对角度进行实时的控制,根据仿真和测试结果可知,该系统在 PID 算法控制下,实现了角度自动控制系统的快速响应,仿真结果与测试结果一致,电机响应稳定性较好,且灵敏度较高,为以后太阳能系统高效性的研究提供了更好的基础条件。

参考文献:

- [1] 杨丰涛. 基于单片机的太阳光追踪系统研究[D]. 太原:中北大学,2013.
- [2] 郭志培. 太阳自动追踪系统的研究[D]. 太原:太原科技大学,2012.
- [3] 张飞鸽. 基于增量式 PID 算法的电风扇系统设计[J]. 机械与电子,2016,34(12):50-53.
- [4] 方良材,黄卫萍. 基于 MATLAB 的果酒发酵温度 PID 控制系统比较研究[J]. 食品与机械,2014,30(3):83-86.
- [5] 王用伦. 微机控制技术[M]. 重庆:重庆大学出版社,2010.
- [6] 张亚群,游亚戈,吴必军,等. 基于 ADC0809 的 16 通道数据采集系统[J]. 计算机工程,2010,36(13):222-223.
- [7] BLEVINS T L, COYNE D, WOJSZNI W K, et al. Improving PID recovery from limit conditions[J]. IFAC Proceedings Volumes,2012,45(3):471-476.
- [8] MARTÍNEZ G S, DELAMER I M, LASTRA J L M. A packet scheduler for real-time 6LoWPAN wireless networks in manufacturing systems[J]. Journal of Intelligent Manufacturing,2014,28(2):301-311.
- [9] SZABOLICS T, CSEH G, KOCSIS G, et al. Software development for the simultaneous control of ten intelligent overview video cameras at W7-X[J]. Fusion Engineering and Design,2017,123:995-1000.
- [10] DAS A, LIN Y H, LAI C S. Miniaturized amorphous-silicon based chemical imaging sensor system using a mini-projector as a simplified light-addressable scanning source[J]. Sensors and Actuators B: Chemical,2014,190:664-672.
- [11] 周晓伟,蔡建平,郑增威,等. 新型室内照明智能控制系统的研究与实现[J]. 计算机应用研究,2009,26(8):2977-2981.
- [12] 王天会,李昂,王丹,等. 光敏传感器基本特性与应用教学研究[J]. 实验技术与管理,2017,34(5):170-173.
- [13] DONG S, YUAN Z, GU C, et al. Research on intelligent agricultural machinery control platform based on multi-discipline technology integration[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2017,33(8):1-11.
- [14] 谢晓燕,石晓龙. 机车综合无线通信设备语音单元的设计与实现[J]. 计算机技术与发展,2016,26(2):136-139.
- [15] 侯昭武. 单片机用电故障控制系统设计[J]. 计算机技术与发展,2009,19(5):213-216.
- [16] 李善寿,方潜生,肖本贤,等. 基于单片机的恒温控制器的设计和实现[J]. 计算机技术与发展,2008,18(12):197-199.
- [17] 张广斌. 智能化变速器检测系统的研究与开发[J]. 计算机工程与应用,2010,46(26):64-66.