

**风 力 摆 控 制 系 统**

**结**

**题**

**报**

**告**

**参赛学校：**成都信息工程大学

**参赛人员：**邹 林、尚煜星、郑 维

**指导老师：**王建波

**摘 要：**

风力摆控制系统（以下简称本系统），由数据采集处理部分，PID闭环控制调节部分，稳压电源部分，以及外围辅助部分，四个部分组合而成。整个系统通过STM32微处理器进行全局控制；采用MPU6050整合性6轴运动处理组件采集实时加速度，角速度以及欧拉角；并通过IIC通信协议传输数据，当微处理器接收到数据之后采用PWM脉冲宽度调制结合PID闭环控制达到自动、稳定、精确控制的目的。本系统采用两组轴流风机为其提供动能，使用万向轴提供自由方向，红外激光笔表现其结果。通过理论及验证，本系统可以达到良好的自动控制目的，并且拥有较高的控制精度。在实验基础之上，通过调试测量与创新，完成了相关的要求以及体现了我们的创新。

**关键字：**风力摆控制系统、闭环控制、STM32微处理器、MPU6050、IIC通信协议、PWM脉冲宽度调制、轴流风机

**Abstract：**

Wind pendulum control system (hereinafter referred to as the system ) , the data acquisition and processing , PID loop control adjusting section , power supply section , as well as external auxiliary part , a combination of four parts . The entire system is controlled by a global STM32 microprocessor ; 6-axis motion processing components using integrated acquisition and data MPU6050 acceleration , angular velocity and the Euler angles ; and through the IIC communication protocol to transfer data , when the microprocessor receives data using the PWM pulse width modulation with PID closed loop control to achieve automatic , stable , precise control . The system uses two axial fan to provide kinetic energy , the use of infrared laser pointer show the results. Theoretical and verification , the system can achieve good automatic control purposes , and has high control accuracy. In experimental basis, by commissioning measurements and innovation , to complete the relevant requirements and reflects our innovation.

目录

[1、 参赛题目 3](#_Toc427230455)

[1.1 任务 3](#_Toc427230456)

[1.2 基本要求 4](#_Toc427230457)

[1.3 发挥部分 4](#_Toc427230458)

[2、 方案设定与论证 4](#_Toc427230459)

[2.1 方案设计 4](#_Toc427230460)

[2.1.1 平台设计 5](#_Toc427230461)

[2.1.2 数据采集设计 5](#_Toc427230462)

[2.1.3 轴流风机控制设计 5](#_Toc427230463)

[2.2 方案论证 5](#_Toc427230464)

[3、 硬件设计 6](#_Toc427230465)

[3.1 轴流风机受力控制 6](#_Toc427230466)

[3.2 总体硬件框图 6](#_Toc427230467)

[3.3 电路设计 6](#_Toc427230468)

[4、 程序设计 6](#_Toc427230469)

[4.1 程序框架 6](#_Toc427230470)

[4.2 MPU6050数据采集程序设计 6](#_Toc427230471)

[4.3 PWM脉冲宽度调制 6](#_Toc427230472)

[5、 调试结果与分析 6](#_Toc427230473)

[5.1 分块测试模块以及程序 6](#_Toc427230474)

[5.2 整机测试程序 6](#_Toc427230475)

[5.3 测试数据分析 7](#_Toc427230476)

[5.4 误差分析 7](#_Toc427230477)

[6、 创新与发挥 7](#_Toc427230478)

[7、 总结及感想 7](#_Toc427230479)

[8、 参考文献 7](#_Toc427230480)

### 1、 参赛题目

* 1. 任务

一长约60cm~70cm的细管上端用万向节固定在支架上，下方悬挂一组（2~4只）直流风机，构成一风力摆，风力摆上安装一向下的激光笔，静止时，激光笔的下端距地面不超过20cm。设计一测控系统，控制驱动各风机使风力摆按照一定规律运动，激光笔在地面画出要求的轨迹。

* 1. 基本要求

（1） 从静止开始，15s内控制风力摆做类似自由摆运动，使激光笔稳定地

在地面画出一条长度不短于50cm的直线段，其线性度偏差不大于±2.5cm，并且具有较好的重复性；

（2） 从静止开始，15s内完成幅度可控的摆动，画出长度在30~60cm间可设置，长度偏差不大于±2.5cm的直线段，并且具有较好的重复性；

（3） 可设定摆动方向，风力摆从静止开始，15s内按照设置的方向（角度）摆动，画出不短于20cm的直线段；

（4） 将风力摆拉起一定角度（30°~45°）放开，5s内使风力摆制动达到静止状态。

1.3 发挥部分

（1） 以风力摆静止时激光笔的光点为圆心，驱动风力摆用激光笔在地面画圆，30s内需重复3次；圆半径可在15~35cm范围内设置，激光笔画出的轨迹应落在指定半径±2.5cm的圆环内；

（2） 在发挥部分（1）后继续作圆周运动，在距离风力摆1~2m距离内用一台50~60W台扇在水平方向吹向风力摆，台扇吹5s后停止，风力摆能够在5s内恢复发挥部分（1）规定的圆周运动，激光笔画出符合要求的轨迹；

（3） 其他。

### 2、 方案设定与论证

2.1 方案设计

根据题目的要求和本组人员的讨论，本系统采用STM32ZET6型微处理器作为控制核心，采用MPU6050整合性6轴运动处理组件采集角速度、加速度和欧拉角，使用两组轴流风机作为唯一平台动力驱动，主要使用12V/2200mAh锂电池为系统供电。STM32微处理器处理MPU6050采集到的数据并进行分析，然后通过PWM脉冲宽度调制控制两组轴流风机的转速以控制方向和摆动幅度。通过PID算法逐渐对本系统进行精确的控制。

****2.1.1 平台设计****

本次比赛，我们计划采用两组轴流风机呈 “ **+** ” 型安装，这样设计，有利于本系统在硬件上基本上基于平衡；在题目要求的设计上，可以实现直线摆动以及圆周摆动的要求。

2.1.2 数据采集设计

我们计划使用MPU6050整合性6轴运动处理组件采集本系统所需要的各种姿态数据。MPU6050整合性6轴运动处理组件，以数字输出6轴或9轴的旋转矩阵、四元数(quaternion)、欧拉角格式(Euler Angle forma)的融合演算数据。 具有131 LSBs/°/sec 敏感度与全格感测范围为±250、±500、±1000与±2000°/sec 的3轴角速度感测器(陀螺仪)。 可程式控制，且程式控制范围为±2g、±4g、±8g和±16g的3轴加速器。

2.1.3 轴流风机控制设计

轴流风机采用STM32四路PWM脉冲宽度调制信号进行控制。PWM脉冲宽度调制，（英语：Pulse Width Modulation，缩写：PWM），简称脉宽调制，是将模拟信号转换为脉波的一种技术，一般转换后脉波的周期固定，但脉波的占空比会依模拟信号的大小而改变。在模拟电路中，模拟信号的值可以连续进行变化，在时间和值的幅度上都几乎没有限制，基本上可以取任何实数值，输入与输出也呈线性变化。所以在模拟电路中，电压和电流可直接用来进行控制对象。

2.2 方案论证

通过MPU6050采集到的数据，我们可以使用其反馈的角度值和角速度值对本系统进行控制；若当角速度的值趋近于正负零的时候可以判断轴流风机的姿态接近于最高点，当角度值与标记量进行对比可以判定轴流风机编号，当确定了摆动方向与轴流风机编号之后，就可以通过控制占空比来控制轴流风机的转速达到基本要求。

通过前期制作对应表的方法，可以较为简单快捷的完成基本要求二、三，前期通过手动测试数据并记录成数组的方式可以获取轴流风机PWM占空比与摆动长度和摆动方向的比例关系；那么在维持本系统的稳定方面可以通过PID算法进行调节，使之逐渐趋近于稳定。

在第二、三题上也可以通过对欧拉角合成力矩方向与摆动长度和摆动方向形成的线性关系建立函数计算轴流风机PWM占空比与摆动长度和摆动方向的比例关系；若这样设计在系统的稳定性方面将会有较为大的影响，如果对于轴流风机编号定位不准确的话，在摆动的上升或者下降方面将会有很大的影响。当然我们依然可以用PID算法对本系统进行调节，在调节的难度上将会更难。

采用两组风机设计，在摆动静止的过程上会有难度的提升，质量与惯性成正比例，在改变运动状态上我们需要更多的力改变运动方向做工，首先，我们考虑通过MPU6050回传的数据读取当前的姿态，判断出当前的角度值，设定反方向上的风机以最大的PWM占空比进行输出，当初始状态为两个轴流风机的合成方向，就要沿着合成角度的反方向其他两个轴流风机进行PWM占空比最大输出。在本次基础要求中，轴流风机的判定姿态问题依然是作重要的，首先，要求在初始状态下判定位置，并且程序立即执行PWM控制，在风力摆将达到对角最高时，要立即对轴流风机进行停止，并且立即对运动方向上的轴流风机加速如此往复达到目的。但是这样在沿着“ **+** ”方向上的风力摆来说达到静止要求的时间更长。所以，在对于沿着“ **+** ”方向上的风力摆达到静止采用另一种算法，首先在第一次下降时，就使用两个与运动方向相同并呈 “ **𠃍** ”形态的轴流风机对系统进行减速操作，如此往复可使得风力摆以更快的速度达到静止状态。

### 3、 硬件设计

3.1 轴流风机受力控制

在轴流风机的的设计中，我们采用 “ + ” 的设计方式，那么两组四个轴流电机以十字形进行出风，由于轴流风机是驱动风力摆的唯一动力，所以在控制上采用PWM脉冲宽度调制信号与PID算法联合进行控制和微处理以及风力摆的姿态调节。在风力摆上可以实现前后左右，以及圆周，单摆等的控制。

风力摆以及轴流风机的安装如图所示：

3.2 总体硬件框图



3.3 电路设计

3.4

### 4、 程序设计

4.1 程序框架

4.2 MPU6050数据采集程序设计

4.3 PWM脉冲宽度调制

### 5、 调试结果与分析

5.1 分块测试模块以及程序

5.2 整机测试程序

5.3 测试数据分析

5.4 误差分析

### 6、 创新与发挥

### 7、 总结及感想

### 8、 参考文献

#### 附录

**PID控制器：**

PID控制器：（比例-积分-微分控制器，闭环控制），由比例单元P、积分单元I和微分单元D组成。通过Kp，Ki和Kd三个参数的设定。PID控制器主要适用于基本上线性，且动态特性不随时间变化的系统。

PID控制器是一个在工业控制应用中常见的反馈回路部件。这个控制器把收集到的数据和一个参考值进行比较，然后把这个差别用于计算新的输入值，这个新的输入值的目的是可以让系统的数据达到或者保持在参考值。PID控制器可以根据历史数据和差别的出现率来调整输入值，使系统更加准确而稳定。

PID控制器的比例单元P、积分单元I和微分单元D分别对应目前误差、过去累计误差及未来误差。若是不知道受控系统的特性，一般认为PID控制器是最适用的控制器。借由调整PID控制器的三个参数，可以调整控制系统，设法满足设计需求。控制器的响应可以用控制器对误差的反应快慢、控制器过冲的程度及系统震荡的程度来表示。不过使用PID控制器不一定保证可达到系统的最佳控制，也不保证系统稳定性。

若定义u(t)为控制输出，PID算法可以用下式表示：

其中：

K_p：比例增益，是调适参数

K_i：积分增益，也是调适参数

K_d：微分增益，也是调适参数

e：误差=设定值（SP）- 回授值（PV）

t：目前时间

\tau：积分变数，数值从0到目前时间t

资料来源：

<https://zh.wikipedia.org/wiki/PID%E6%8E%A7%E5%88%B6%E5%99%A8>（维基百科PID控制器介绍）

<http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_zdhyy201005012.aspx>（万方数据PID参数的意义与整定方法，廖常初，重庆大学）

<http://baike.baidu.com/view/8879632.htm?fromtitle=mpu6050&type=syn>（百度百科MPU6050整合性6轴运动处理组件）

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E8%84%88%E8%A1%9D%E5%AF%AC%E5%BA%A6%E8%AA%BF%E8%AE%8A>（维基百科，PWM脉冲宽度调制）