

基于Arduino的三轴云台开发



报告人：

李方楠 17307110143

魏秦汉 17300200045



CONTENTS

01 云台设计

02 各硬件模块介绍

03 六轴传感器计算姿态角

04 平衡效果及展示

05 蓝牙模块—控制拓展

06 问题与解决





01 云台设计



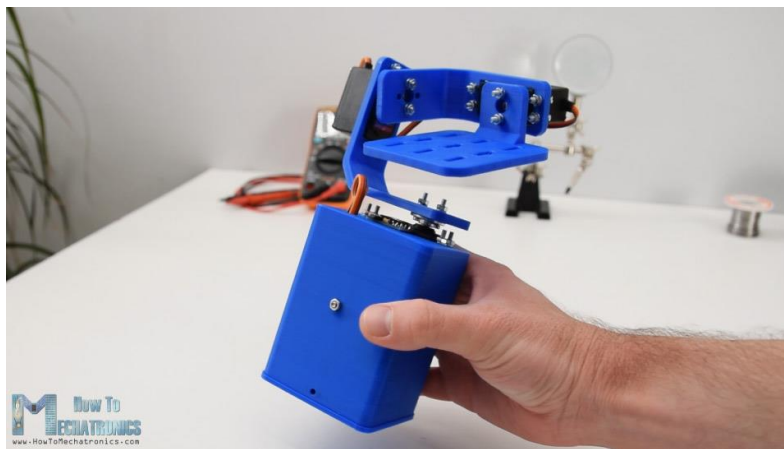
01 云台设计

云台 (gimbal) 简介:

云台, 又称平衡环架, 为一具有枢纽的装置, 使得一物体能以单一轴旋转。由彼此垂直的枢纽轴所组成的一组三只平衡环架, 则可使架在最内的环架的物体维持旋转轴不变, 可应用在船上的陀螺仪、罗盘、饮料杯架等, 而不受船体因波浪上下震动、船身转向的影响。另外, 有些摄影用云台也利用到平衡环架, 使得摄影时画面较稳定。



三轴的平衡环架组, 中心金黄色的圆盘得以保持朝上的转轴作自转。



设计目标: 移动底座, 上方平台的法向量不会发生变化, 也不会旋转。

01 云台设计

实验原理：

将mpu6050传感器固定在底座上，利用传感器获取当前时刻的姿态角，输入到Arduino单片机上，与上一次获取到姿态角做对比（时间差约为10ms）；Arduino通过设定好的程序给控制三个转轴的舵机输出信号，使三个舵机带动转轴旋转改变平台与传感器的相对位置，从而保持与地面的相对位置不变。



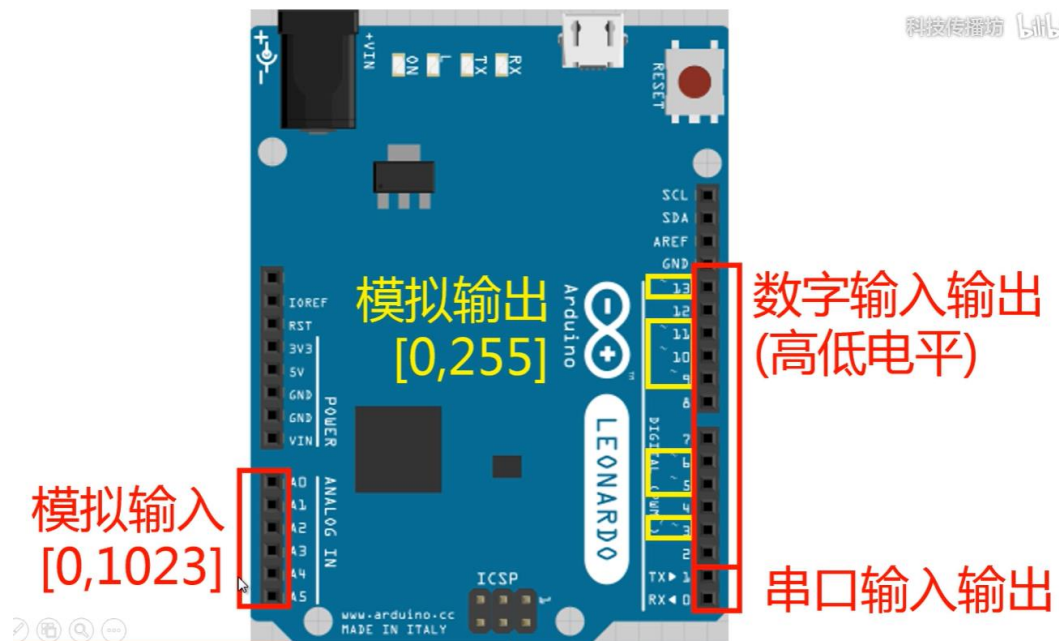
02 各硬件模块介绍



02 硬件介绍-Arduino

开源硬件+Arduino IDE
单片机
处理IO (Input Output 处理输入输出)

连接软件与硬件的桥梁



02 硬件介绍-MPU6050

组成:

陀螺仪传感器: 一个旋转物体的旋转轴所指的方向在不受外力影响时, 是不会改变的。人们根据这个道理, 用它来保持方向。然后用多种方法读取轴所指示的方向, 并自动将数据信号传给控制系统;

加速度传感器: 一种能够测量加速度的传感器。通常由质量块、阻尼器、弹性元件、敏感元件和适调电路等部分组成。传感器在加速过程中, 通过对质量块所受惯性力的测量, 利用牛顿第二定律获得加速度值。

在mpu6050中我们用陀螺仪传感器测角度, 用加速度传感器测加速度

MPU60X0:

MPU-60X0是全球首例9轴运动处理传感器。它集成了3轴MEMS陀螺仪, 3轴MEMS 加速度计, 以及一个可扩展的数字运动处理器 DMP (Digital Motion Processor);

DMP从陀螺仪、加速度计以及外接的传感器接收并处理数据, 处理结果可以从 DMP 寄存器读出, 或通过 FIFO 缓冲。

02 硬件介绍-MPU6050

MPU6050姿态融合:

姿态角 (Euler角) pitch yaw roll

飞行器的姿态角并不是指哪个角度，是三个角度的统称，它们是：俯仰、滚转、偏航，可以想象是飞机围绕XYZ三个轴分别转动形成的夹角。

地面坐标系:

- ①在地面上选一点O
- ②使X轴在水平面内并指向某一方向
- ③Z轴垂直于地面并指向地心(重力方向)
- ④Y轴在水平面内垂直于X轴，其指向按右手定则确定

机体坐标系:

- ①原点O取在飞机质心处，坐标系与飞机固连
- ②x轴在飞机对称平面内并平行于飞机的设计轴线指向机头
- ③y轴垂直于飞机对称平面指向机身右方
- ④z轴在飞机对称平面内，与x轴垂直并指向机身下方

02 硬件介绍-MPU6050

MPU6050姿态融合（续）：

1. 欧拉角/姿态角（Euler Angle）

机体坐标系与地面坐标系的关系是三个Euler角，反应了飞机相对地面的姿态。

俯仰角 θ （pitch）：机体坐标系X轴与水平面的夹角。当X轴的正半轴位于过坐标原点的水平面之上（抬头）时，俯仰角为正，否则为负。

2. 偏航角 ψ （yaw）：

机体坐标系x轴在水平面上投影与地面坐标系x轴（在水平面上，指向目标为正）之间的夹角，由x轴逆时针转至机体x的投影线时，偏航角为正，即机头右偏航为正，反之为负。

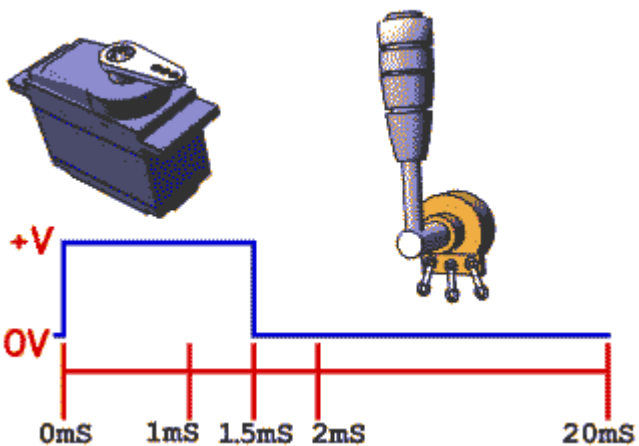
3. 滚转角 Φ （roll）：机体坐标系z轴与通过机体x轴的铅垂面间的夹角，机体向右滚为正，反之为负。

MPU6050 是一款姿态传感器，使用它就是为了得到待测物体（如四轴、平衡小车） x、y、z 轴的倾角（俯仰角 Pitch、滚转角 Roll、偏航角 Yaw）。我们通过 I2C 读取到 MPU6050 的六个数据（三轴加速度 AD 值、三轴角速度 AD 值）经过姿态融合后就可以得到 Pitch、Roll、Yaw 角

02 硬件介绍-MG996R舵机



MG996R舵机



工作原理图

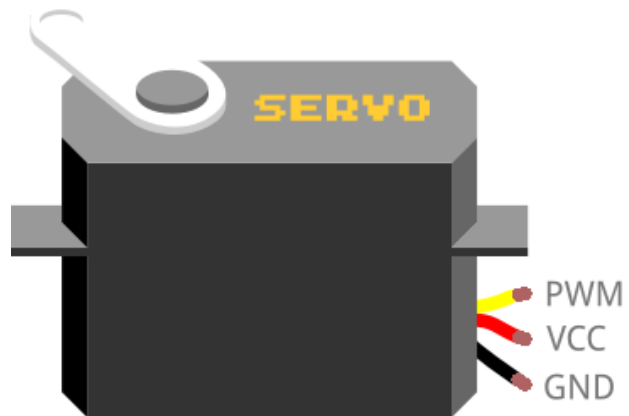
简介:

舵机是一种带有输出轴的小装置。当我们向它发送一个控制信号时，输出轴就可以转到特定的位置。只要控制信号持续不变，伺服机构就会保持轴的角度位置不改变。如果控制信号发生变化，输出轴的位置也会相应发生变化。

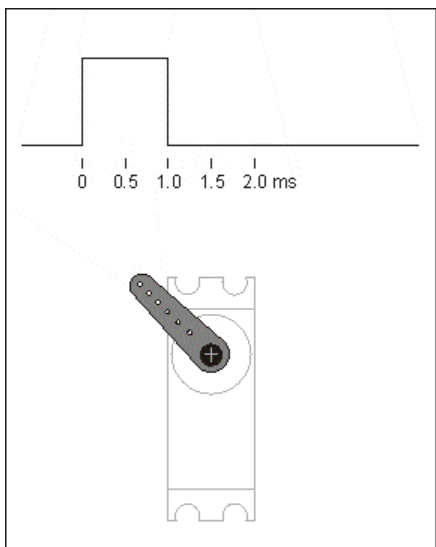
工作原理:

舵机内部的控制电路，电位计（可变电阻器）和电机均被连接到电路板上，控制电路通过电位计可监控舵机的当前角度；如果轴的位置与控制信号相符，那么电机就会关闭。如果控制电路发现这个角度不正确，它就会控制马达转动，直到它达到指定的角度。

02 硬件介绍-MG996R舵机



电源线 (+5V, 红色), 地线 (GND 黑色) 和PWM控制线 (黄色或白色)



如何让舵机转到指定角度:

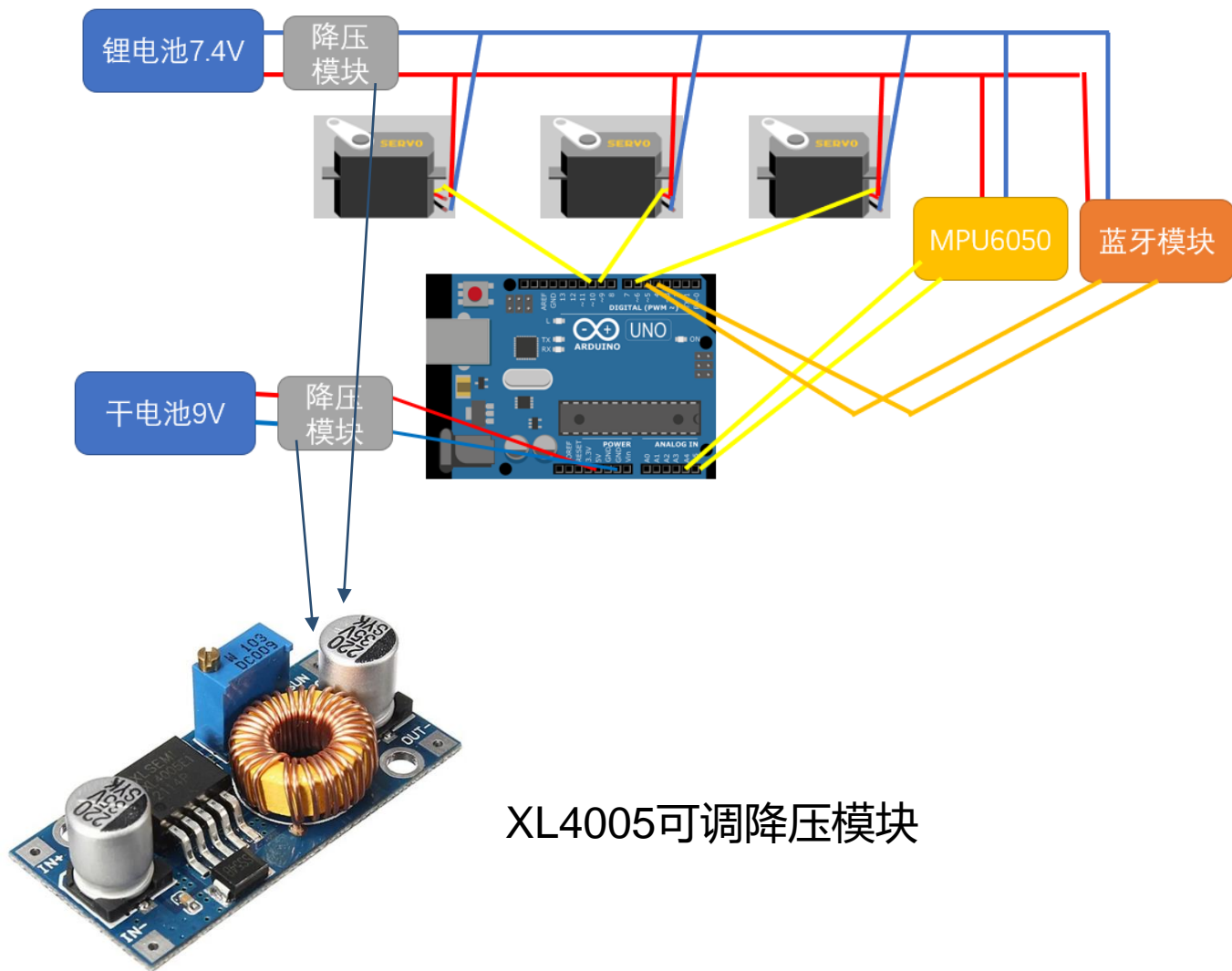
控制线用于传输角度控制信号。这个角度是由控制信号脉冲的持续时间决定的;

舵机的控制一般需要一个20ms的时间脉冲, 该脉冲的高电平部分一般为0.5ms-2.5ms范围;

脉冲的宽度将决定马达转动的位置。例如: 1.5毫秒的脉冲, 电机将转向90度的位置; 以180度舵机为例, 对应的控制关系是这样的:

0.5ms	———	0度;
1.0ms	———	45度;
1.5ms	———	90度;
2.0ms	———	135度;
2.5ms	———	180度;

02 硬件介绍-接线图及组装图

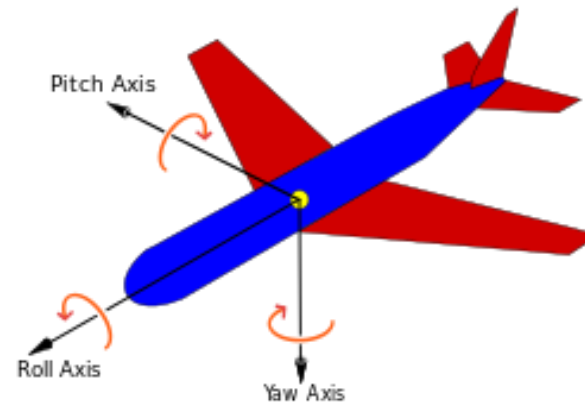
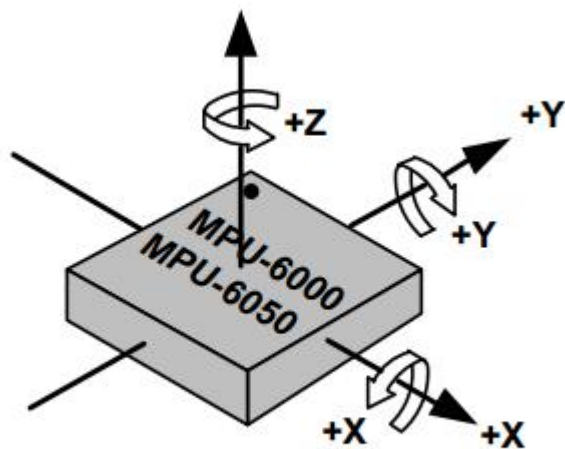




03 六轴传感器计算姿态角



三、六轴传感器计算姿态角



MPU6050测量的量:

- xyz三个方向的**加速度** (受力, 包括重力)
- 绕x,y,z三轴旋转的**角速度**

一个物体相对地面的姿态

- **俯仰角** (pitch) : YZ平面, 围绕X轴旋转的角度
- **翻滚角** (roll) : XZ平面, 围绕Y轴旋转的角度
- **偏航角** (yaw) : XY平面, 围绕Z轴旋转的角度



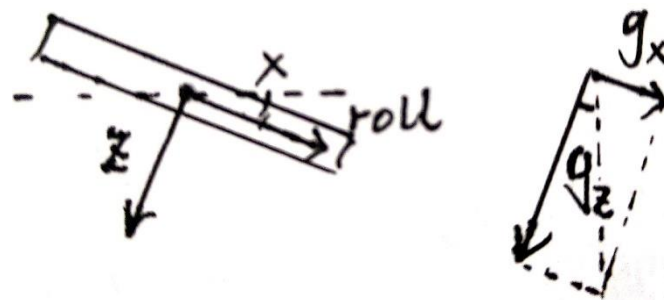
三、六轴传感器计算姿态角

六轴传感器两种计算姿态角的方法：

1. 由加速度传感器：传感器静止时，由重力加速度在三轴上的分量可计算出俯仰角和翻滚角

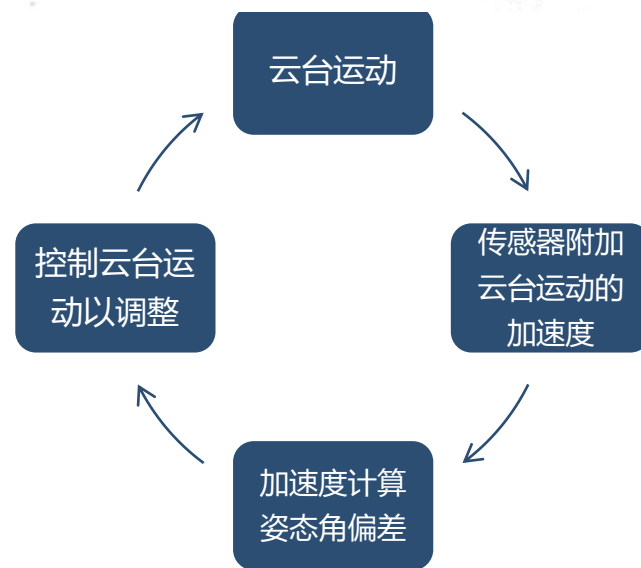
$$pitch = \arctan\left(\frac{g_x}{\sqrt{g_y^2 + g_z^2}}\right)$$

$$roll = \arctan\left(\frac{g_y}{\sqrt{g_x^2 + g_z^2}}\right)$$



缺陷：

1. 传感器非静止时，附加上传感器运动的加速度，计算出的角度偏差。（云台微小抖动产生加速度，云台按计算出的角度调整）
2. 无法得到绕Z轴旋转的偏航角





三、六轴传感器计算姿态角

六轴传感器两种计算姿态角的方法：

2. 角速度传感器：记录初始角度，对角速度数值积分得三个姿态角

$$roll = \sum \omega_{roll} * \Delta t + roll_0$$

$$pitch = \sum \omega_{pitch} * \Delta t + pitch_0$$

$$yaw = \sum \omega_{yaw} * \Delta t + yaw_0$$

缺陷：

1. 数值积分偏差随时间累积



三、六轴传感器计算姿态角

六轴传感器两种计算姿态角的方法：

3. 结合两种方法计算姿态角：互补滤波，给两种方法计算出的姿态角以一定权重

$$\begin{aligned} roll &= k * roll_{Acc} + (1 - k) * roll_{\omega} \\ pitch &= k * pitch_{Acc} + (1 - k) * pitch_{\omega} \\ yaw &= \sum \omega_{yaw} * \Delta t + yaw_0 \end{aligned}$$

- 给加速度计算出的姿态角过多权重：云台对自身运动敏感，导致附加上不规律抖动。
- 给角速度计算出的姿态角过多权重：误差随时间累积比较快
- 最终我们取了0.6、0.4

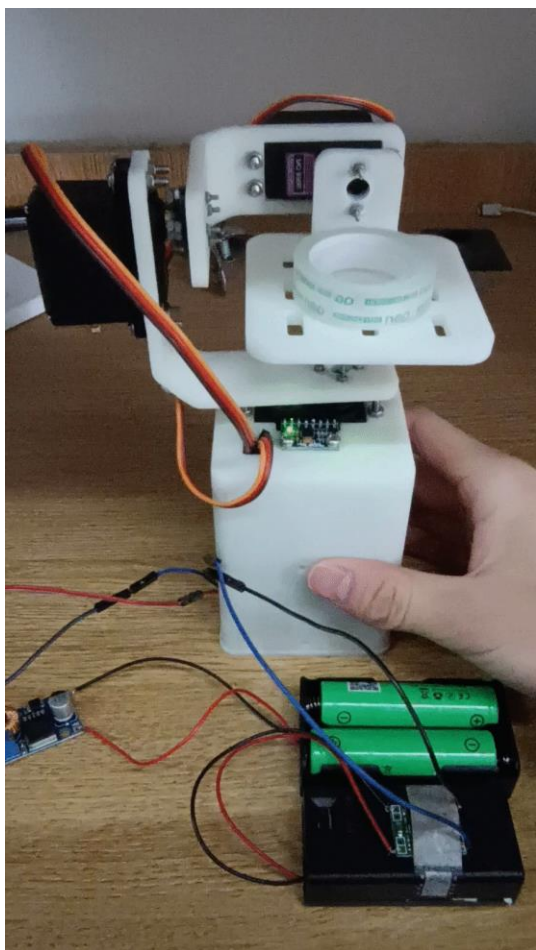


04

平衡效果展示



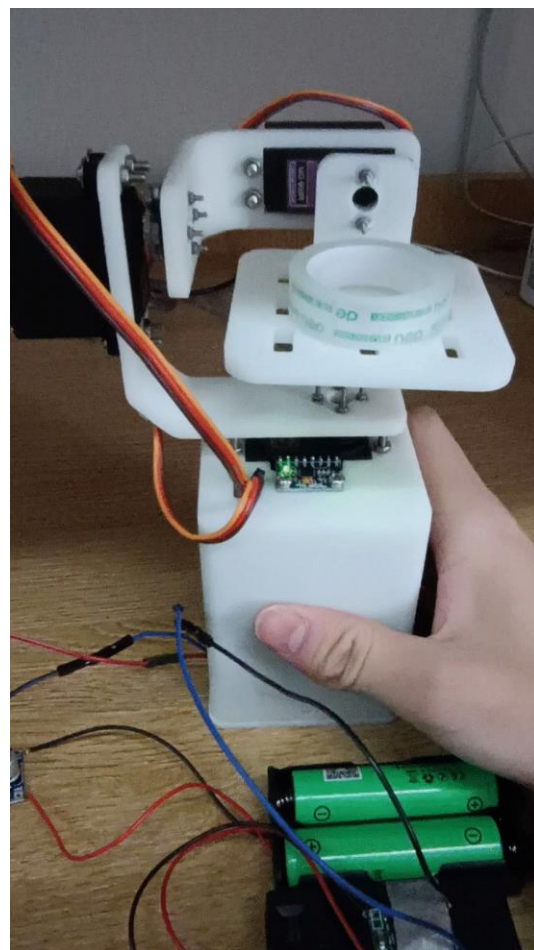
四、平衡效果展示



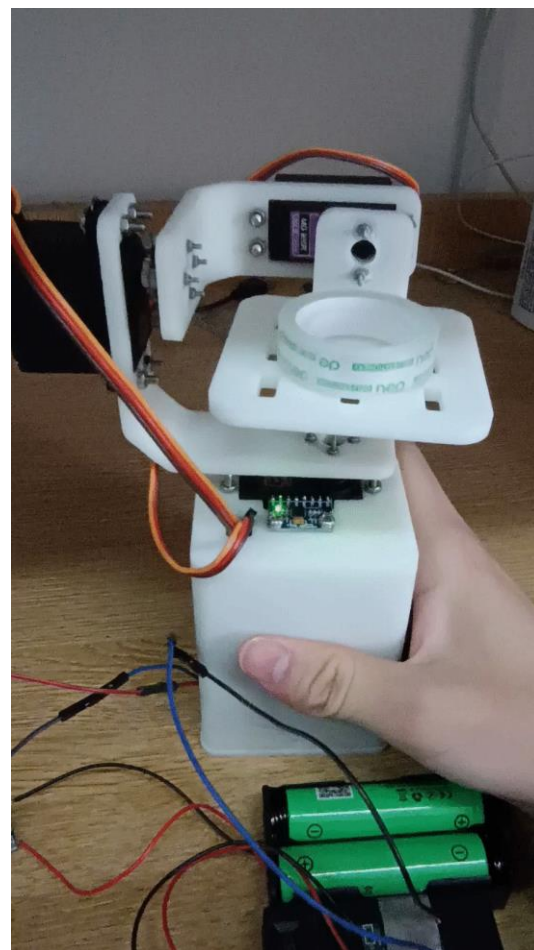
偏航角yaw稳定



俯仰角pitch稳定



翻滚角roll稳定



三轴稳定



05

蓝牙模块—控制拓展

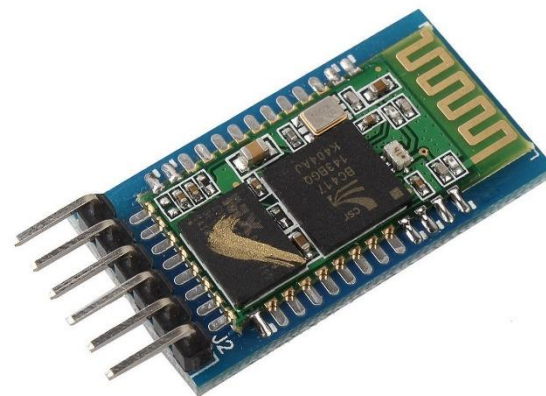


五、蓝牙模块HC-05：实现控制拓展

- 具备双工通信能力：可收发ASCII、十六进制数据
- 使用方便，与Serial串口通信方法类似

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial BlueTooth(4,5);
BlueTooth.begin(9600);

BlueTooth.print("Hello FDU");
if(BlueTooth.available()){
    char c = BlueTooth.read();
}
```



- 可将有蓝牙功能的主设备作为控制器，与云台进行数据通信。我们选用了**安卓手机**

五、蓝牙模块HC-05：实现控制拓展

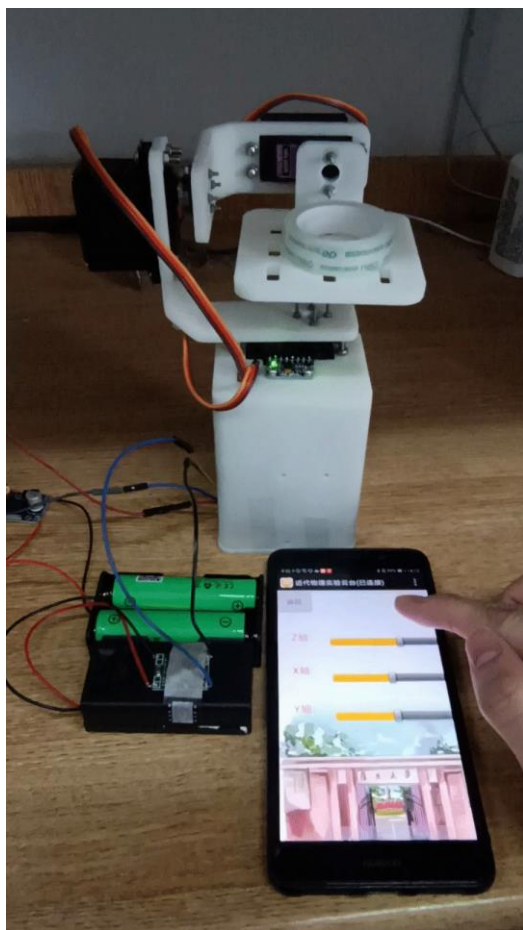
1. 安卓app:

- 使用蓝牙与云台进行串口通信
- 作为控制器，发送数据，**独立控制云台x,y,z三轴的转动**
- 作为监控器，接收数据，**显示云台的姿态和传感器测得的加速度**
- 展望：结合OpenCV，控制云台追踪人脸并拍照

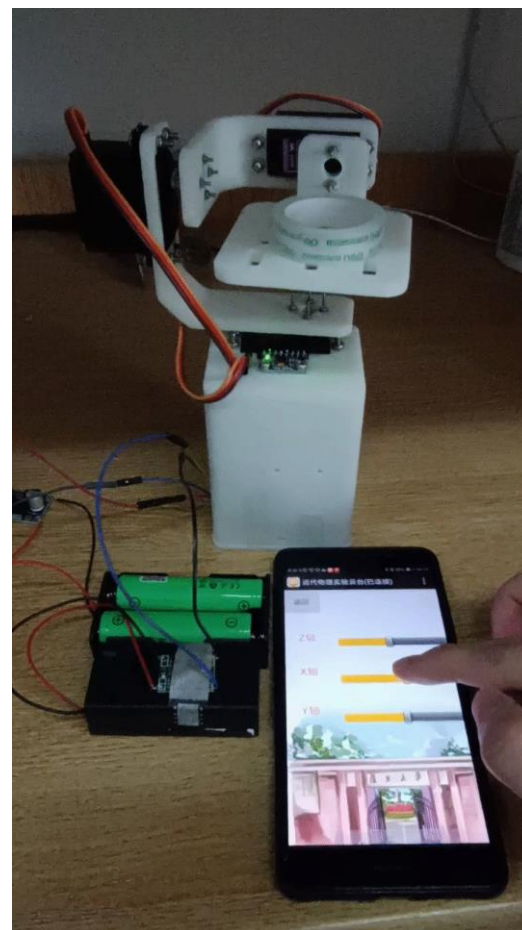


五、蓝牙模块HC-05：实现控制拓展

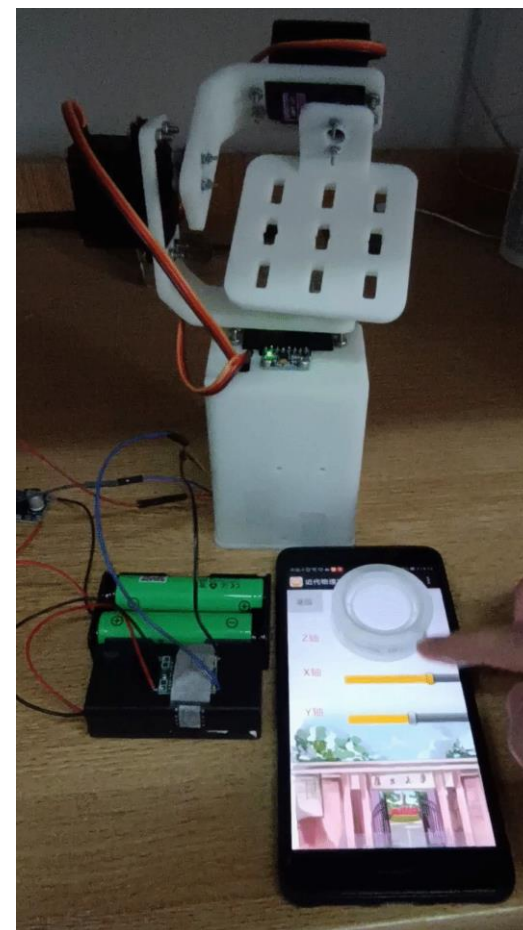
- X Y Z三轴独立控制



Z轴



X轴



Y轴



06

问题与解决



六、问题与解决

1. 单片机复位问题

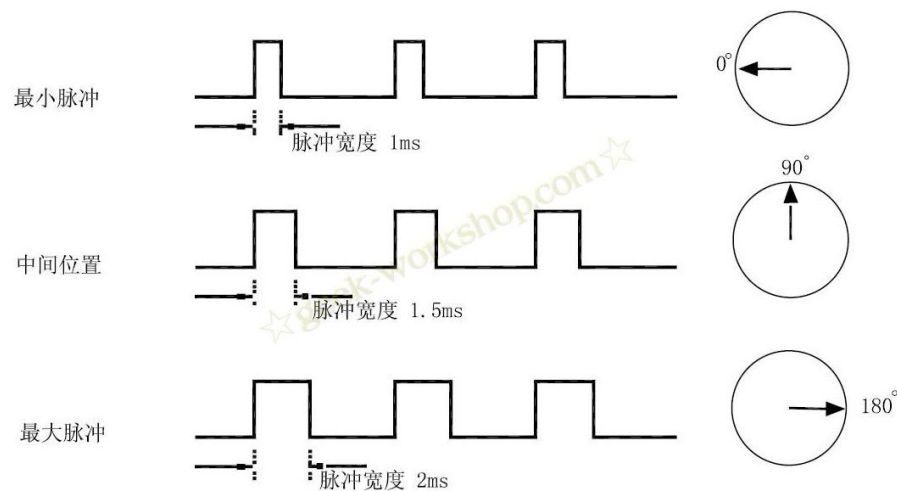
- 现象：云台运行时，单片机复位（重启）
- 原因：供电问题。由于金属舵机开始转动的瞬间，电流冲击很大，使得电源电压瞬间拉低，单片机在过低电压下复位
- 解决方法：单片机与三个金属舵机分开供电



六、问题与解决

2. 舵机抖动问题

- 现象：控制一个舵机运动时，另外两个舵机抖动
- 最终确定原因：控制舵机的servo库与串口通信冲突。
从servo库的底层代码来看，使用了单片机的**定时器**中断，而串口通信也需要使用**定时器**
- 启发：不能盲目使用标准库函数
- 解决方法：重写舵机控制函数，避开使用定时器
- 代价：会有约60ms的延时



```
void servopulse(int pinnum, int angle)//定义一个脉冲函数
{
    int pulsewidth = (angle * 11) + 500; //将角度转化为500-2480的脉宽值
    for(int i=0; i<3; i++){
        digitalWrite(pinnum, HIGH); //将舵机接口电平至高
        delayMicroseconds(pulsewidth); //延时脉宽值的微秒数
        digitalWrite(pinnum, LOW); //将舵机接口电平至低
        delayMicroseconds(20000 - pulsewidth);
    }
}
```



07 总结



七、总结

- 利用六轴传感器计算出云台的姿态，Arduino UNO单片机接收姿态数据后，向舵机发出控制命令，实现云台的平衡功能
- 结合蓝牙模块实现功能拓展，设计安卓app控制云台、监测姿态信息



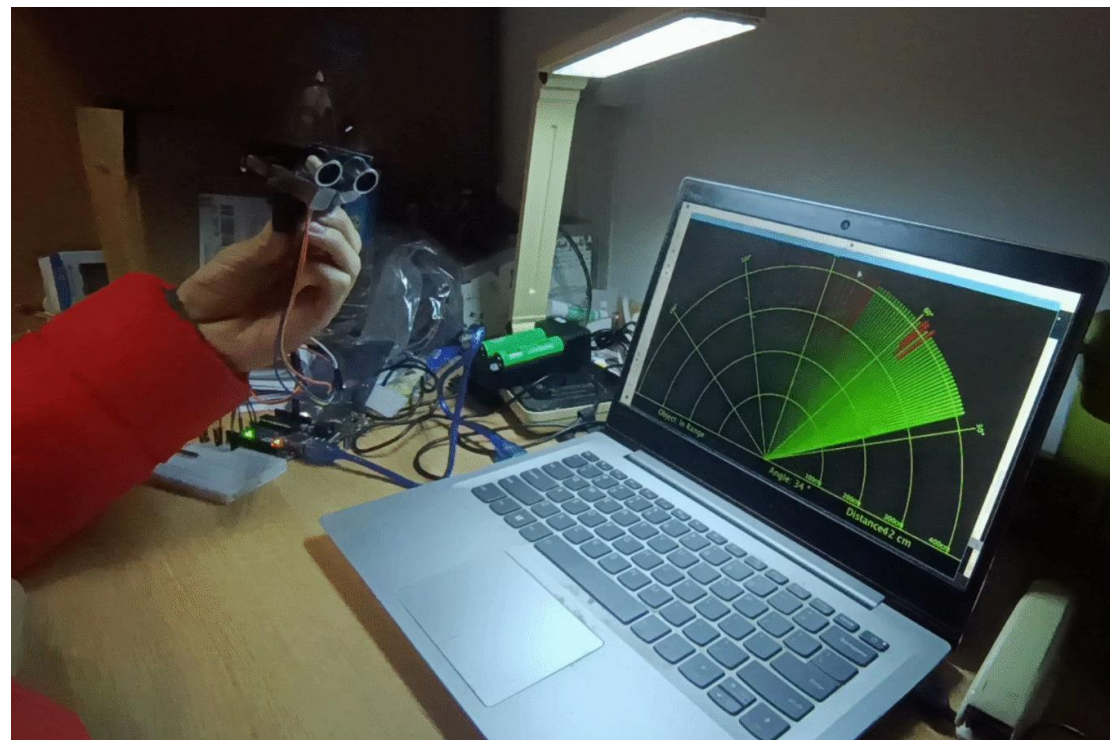
08 其他制作



八、其他

Arduino UNO+ 舵机 + 超声波测距模块HC-SR04

Processing是个很好的实时数据处理及可视化的工具。



復旦大學

THANKS

